

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**

**"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"**

**КАФЕДРА ЗВУКОТЕХНІКИ ТА РЕЄСТРАЦІЇ ІНФОРМАЦІЇ**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

**до виконання лабораторних робіт з дисципліни**

**"Мережні технології 3. Радіорелейні та супутникові  
телекомунікаційні системи"**

(для студентів усіх форм навчання за напрямом підготовки  
6.050903 "Телекомунікації")

**Київ – 2016**

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Мережні технології 3. Радіорелейні та супутникові телекомунікаційні системи" для студентів усіх форм навчання за напрямом підготовки 6.050903 "Телекомунікації" / Укл. В.С. Лазебний, П.В. Попович, М.Г. Лискова. – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 57 с.

*Рекомендовано Вченою радою ФЕМ  
(Протокол №01/2016 від 25.01.2016 р.)*

Навчальне видання

### **Методичні рекомендації**

До виконання лабораторних робіт з дисципліни  
"Мережні технології 3. Радіорелейні та супутникові  
телекомунікаційні системи"  
для студентів усіх форм навчання за напрямом підготовки 6.050903 "Телекомунікації"

Укладачі: *Лазебний Володимир Семенович, к.т.н., доцент*  
*Попович Павло Васильович, асистент*  
*Лискова Марина Геннадіївна, асистент*

Відповідальний редактор: *Савченко Юлій Григорович, д.т.н., професор*

Рецензент: *Найда Сергій Анатолійович, д.т.н., професор кафедри  
акустики та акустoeлектроніки*

Ухвалено на засіданні кафедри Звукотехніки та реєстрації інформації / протокол № 7 від 21.01. 2016 р.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ .....	5
Лабораторна робота №1 .....	5
Лабораторна робота №2 .....	15
Лабораторна робота №3 .....	20
Лабораторна робота №4 .....	29
Лабораторна робота №5 .....	39
Лабораторна робота №6 .....	45
Лабораторна робота №7 .....	53
КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ТА ВКАЗІВКИ ПРО ПОРЯДОК ЗАХИСТУ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ .....	57
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	58

## ВСТУП

Дисципліна "Мережні технології 3. Радіорелейні та супутникові телекомунікаційні системи" є однією з фахових дисциплін під час підготовки фахівців у галузі телекомунікацій. Дисципліна має на меті детальне висвітлення особливостей роботи радіорелейних та супутникових систем зв'язку, призначених, зокрема, для організації телевізійного мовлення. Це є вкрай важливим для підприємств, які займаються виробництвом обладнання радіорелейного та супутникового зв'язку і налаштуванням та обслуговуванням таких систем.

Виконання комплексу лабораторних робіт з цієї дисципліни дозволяє оволодіти базовими сучасними знаннями та навичками з питань аналізу, проектування та налаштування систем радіорелейного та супутникового зв'язку.

Ця дисципліна розкриває особливості роботи зі спеціалізованими програмними комплексами, які дозволяють налаштовувати супутникові антени, аналізувати супутниковий канал зв'язку та проектувати радіорелейні лінії.

# РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

## Лабораторна робота №1

### ПОБУДОВА ПРОЛЬОТУ РАДІОРЕЛЕЙНОЇ ЛІНІЇ (РРЛ) В ПРОГРАМІ ATOLL. ПРОФІЛЬ РРЛ

**Мета роботи:** отримати навички створення проекту РРЛ в програмі Atoll, навчитися проводити аналіз профілю РРЛ для забезпечення функціонування ліній зв'язку.

#### Теоретичні відомості

Рельєф місцевості в процесі розрахунку та проектуванні РРЛ враховується за допомогою профілів інтервалів лінії.

**Профіль траси** відображає вертикальний розріз місцевості між сусідніми радіорелейними станціями з усіма висотними позначками, включаючи будівлі, ліс і т.д. На профілі траси необхідно вказувати водяну поверхню: річки, болота, водосховища. Побудова прокольних профілів відбувається за допомогою топографічних карт після попереднього вибору траси. Спочатку використовують карти масштабу 1:100000 та 1:50000. Надалі окремі ділянки траси, включаючи критичні точки місця установки станцій поблизу населених пунктів і т.п., уточнюються за картами більшого масштабу або безпосередньо на місцевості. На практиці для задовільних розрахунків побудови профілів точність на критичних ділянках повинна бути не гіршою за  $\pm 3\text{м}$ .

**Просвіт** – відстань між лінією  $AB$ , що з'єднує точки розташування передавальної та приймальної антени та найвищою точкою профіля траси. (рис. 1.1).

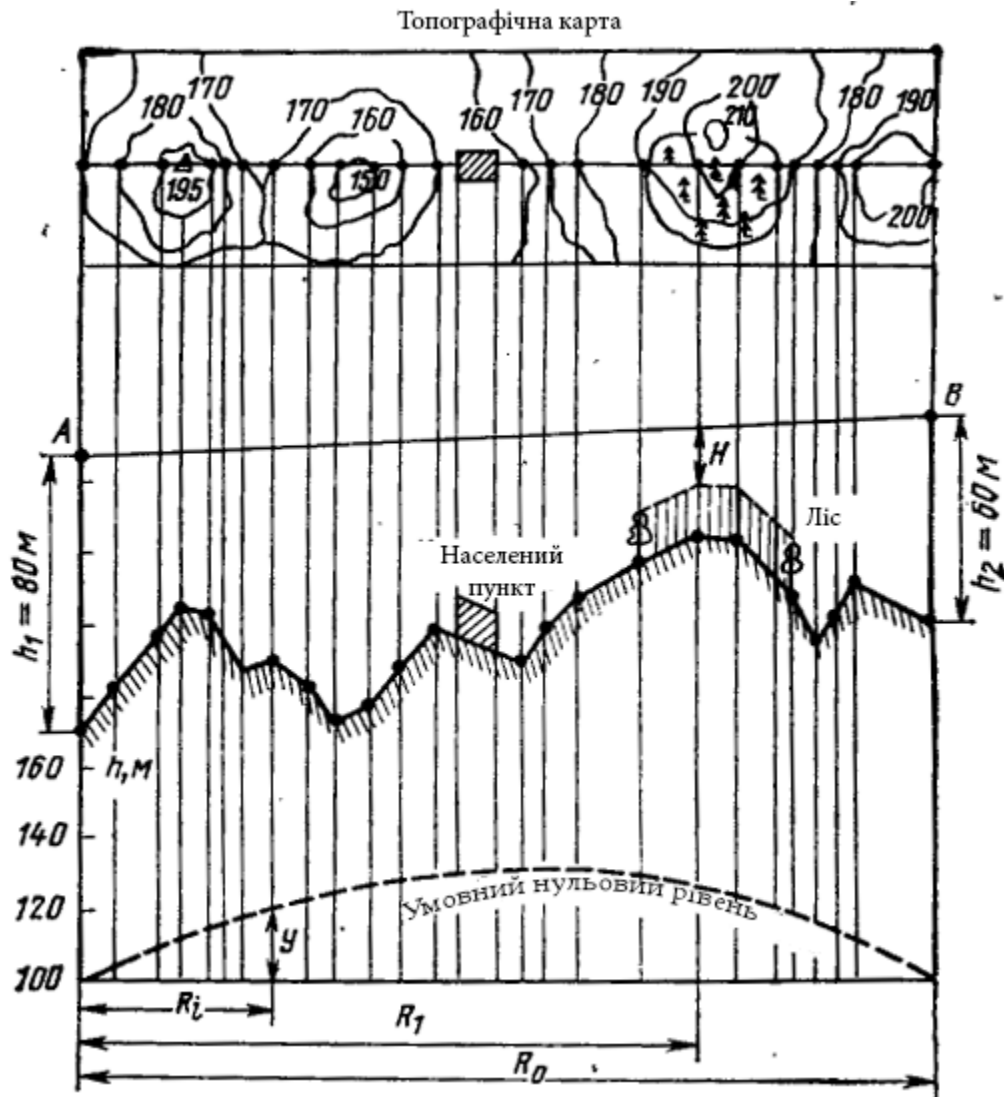


Рисунок 1.1 – Зображення просвіту

Просвіт *позитивний*, якщо лінія  $AB$  проходить вище, ніж найвища точка профіля; *негативний*, якщо ця лінія перетинає профіль траси.

В залежності від величини просвіту  $H$  траси розділяються на наступні:

1. *Відкриті*, для яких  $H \geq H_0$ , де  $H_0$  – просвіт на трасі, з яким напруженість поля в точці приймання  $E_{\text{пр}}$  дорівнює напруженості поля вільного простору  $E_0^1$ . На формування поля в місці приймання впливає певна суттєва область простору, що є еліпсоїдом обертання з фокусами в точках передавання та приймання. Тому для отримання напруженості поля  $E_0$ , а відповідно й потужності сигналу  $P_0$  і т.д. необхідна не просто геометрична видимість, а вільна від затінення зона.  $H_0$  відповідає радіусу мінімальної зони:

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3} R_0 \lambda k (1 - k)},$$

Де  $k$  – відносна координата точки, що визначає просвіт на трасі.

$$k = \frac{R_i}{R_0}$$

де  $R_i$  - відстань до поточної точки.

У разі  $H > H_0$   $E_{\text{пр}}$  має інтерференційний характер, тобто спостерігаються максимуми та мінімуми напруженості поля. Мінімальна вільна від затінення зона, що забезпечує  $E_{\text{прmax}}$ , називається першою зоною Френеля. Вона має радіус  $H_{1\text{max}} = H_0 \sqrt{3}$ , що називається радіусом першої зони Френеля. Перша та наступні непарні зони забезпечують максимуми напруженості поля, а парні – мінімуми.

2. *Напіввідкриті*, для котрих  $H_0 > H > 0$ . При цьому  $E_{\text{пр}} < E_0$ ,  $P_{\text{пр}} < P_{0\text{пр}}$ .

3. *Закриті*, для котрих  $H < 0$ ,  $E_{\text{пр}} < E_0$ ,  $P_{\text{пр}} < P_{0\text{пр}}$ .

4. *Дотичні*, для яких  $H = 0$ ,  $E_{\text{пр}} < E_0$ ,  $P_{\text{пр}} < P_{0\text{пр}}$ . Останні визначають відстань прямої видимості  $R_{\text{пр}}$  (відстань до радіогоризонту). Для гладкої сферичної земної поверхні:

$$R_{\text{пр}} \approx \sqrt{2a_3} (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}),$$

де  $a_3$ :

$$a_3 = \frac{a}{1 + \frac{ag}{2}}$$

де  $a = 6370$  км – геометричний радіус Землі.

$h_1, h_2$  – висоти антенних опор.

**Робота в програмі Atoll.** Для створення нового проекту необхідно запустити програму Atoll і обрати File – New – From a Document Template. Тоді у вікні, що з'явилося (рис. 1.2), обираємо потрібну радіотехнологію.

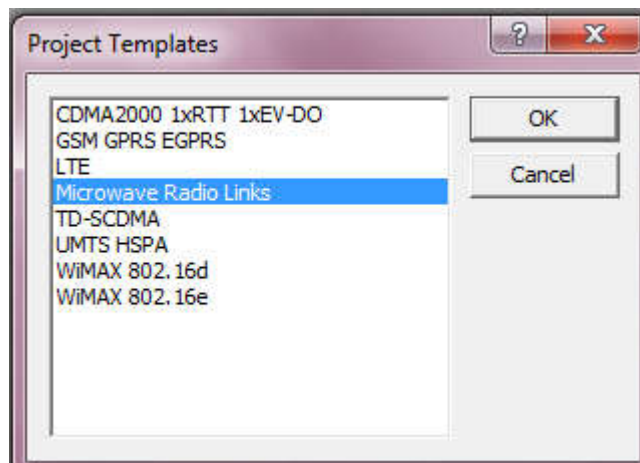


Рисунок 1.2 – Вибір радіотехнології

Після цього з'явиться робоче середовище, як показано на рис. 1.3.

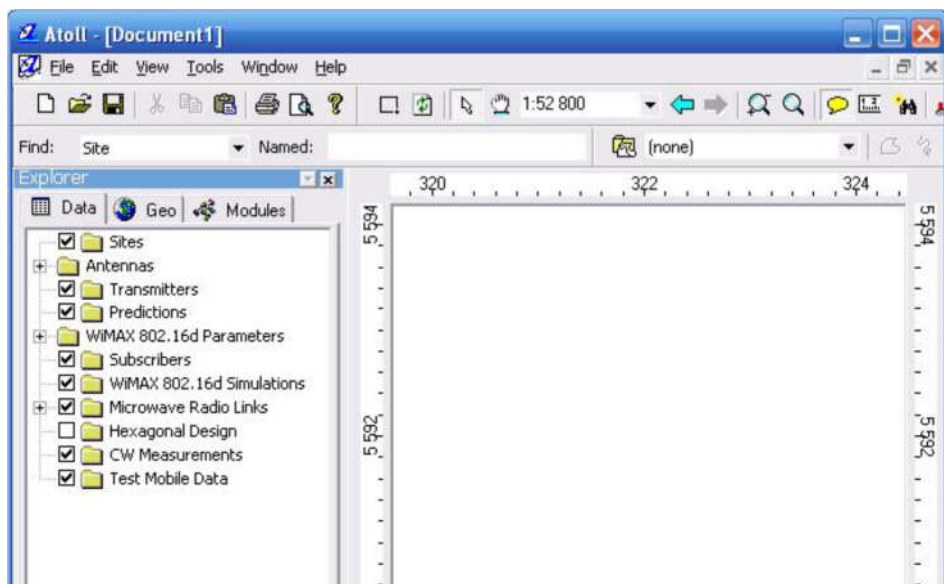


Рисунок 1.3 – Робоче середовище Atoll

Наступним кроком є імпортування цифрових карт в проект. У програмі Atoll використовують спеціальні електронні карти місцевості. В даній лабораторній роботі наявні:

- карти висот рельєфу (heights);
- карти завад та шумів (clutter);

Обираємо File – Import, у вікні, що з'явилося, потрібно вказати файли карт. Імпортуємо цифрові карти по черзі:



1. Спочатку обираємо карти висот рельєфу – height.grd. У вікні, що з'явиться після їх вибору (рис 1.4) нічого не потрібно змінювати, лише потрібно поставити позначку навпроти «Embed in document». Карти автоматично будуть розташовані в розділі Digital terrain model вкладки «Geo» (рис. 1.5).

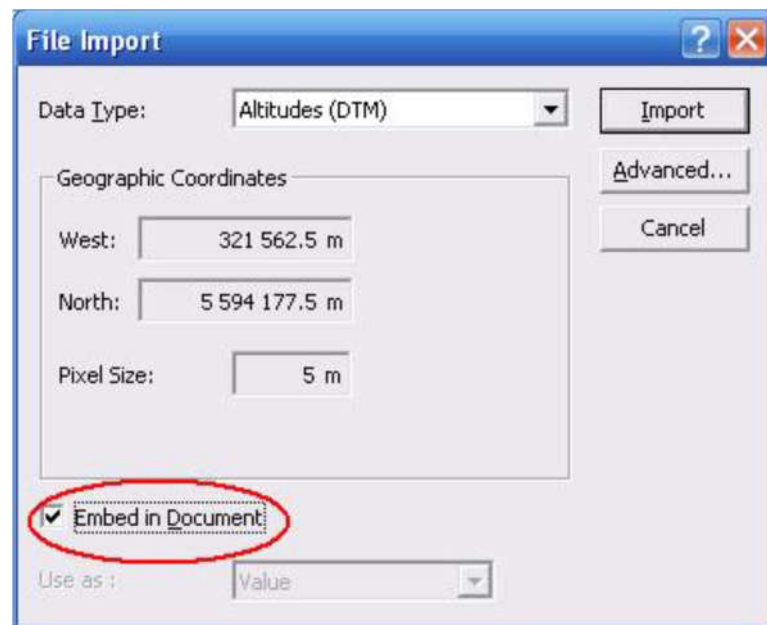


Рисунок 1.4 – Імпортування карт висот рельєфу і забудови

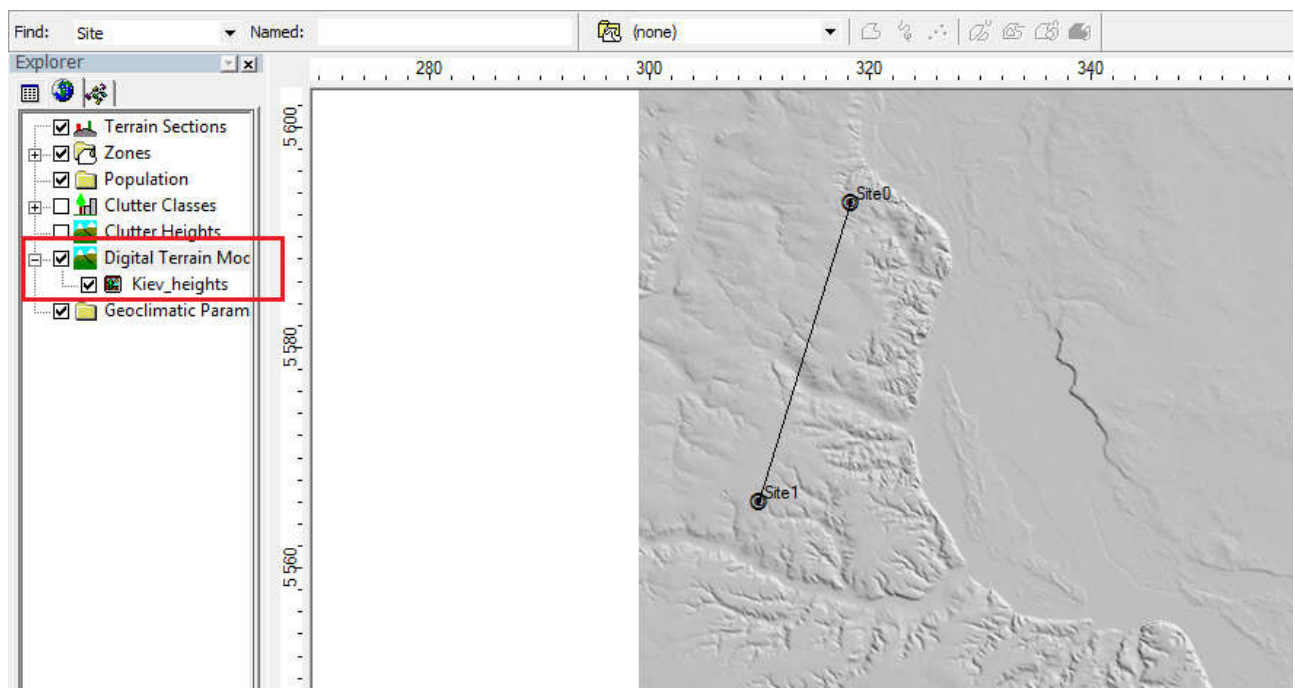


Рисунок 1.5 – Карта висот рельєфу у проєкті.

2. Далі завантажуюємо карту завад і шумів – clutter.grc.

Далі треба обрати систему координат, що відповідає розташуванню Київської області. Для цього обираємо Tools – Options – Projection, і в меню, що з'явилося, обираємо Belarus – west of 30 deg (рис. 1.6):

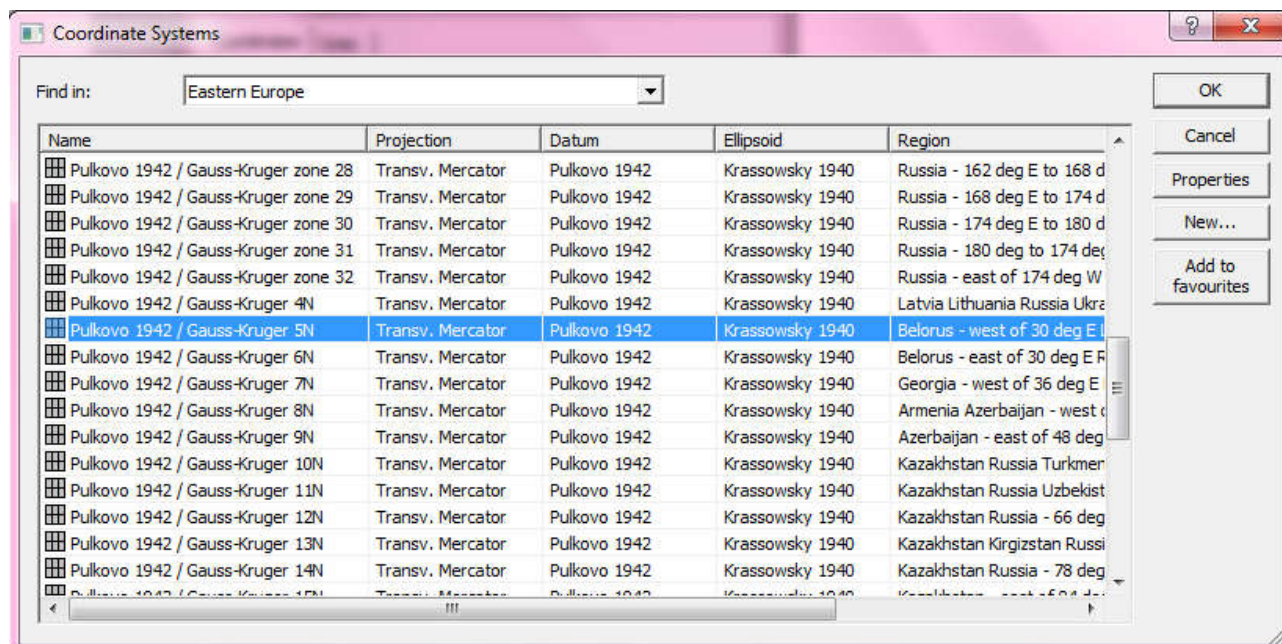


Рисунок 1.6 – Вибір системи координат

Для того, щоб провести радіорелейну лінію, потрібно натиснути іконку New Link на панелі інструментів РРЛ (рис. 1.7):

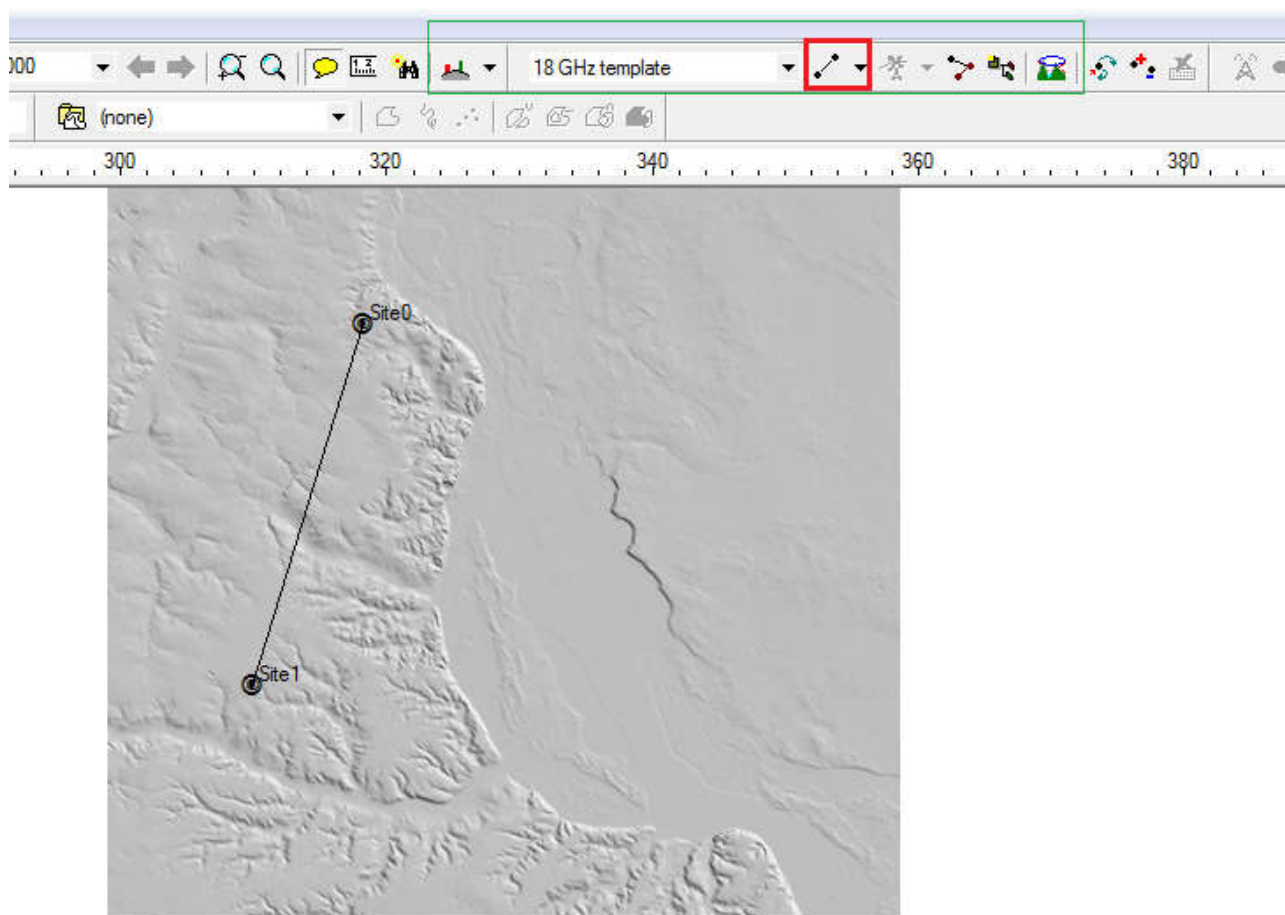


Рисунок 1.7 – Панель інструментів РРЛ та іконка New Link

Натиснувши на іконку New Link, натисніть лівою кнопкою мишки в тій точці карти, де ви бажаєте поставити один передавач, а далі натисніть там, де ви бажаєте поставити другий передавач. Між цими двома точками автоматично з'явиться радіорелейна лінія. Двічі натиснувши на цій лінії, можна відкрити вікно налаштувань (рис. 1.8):

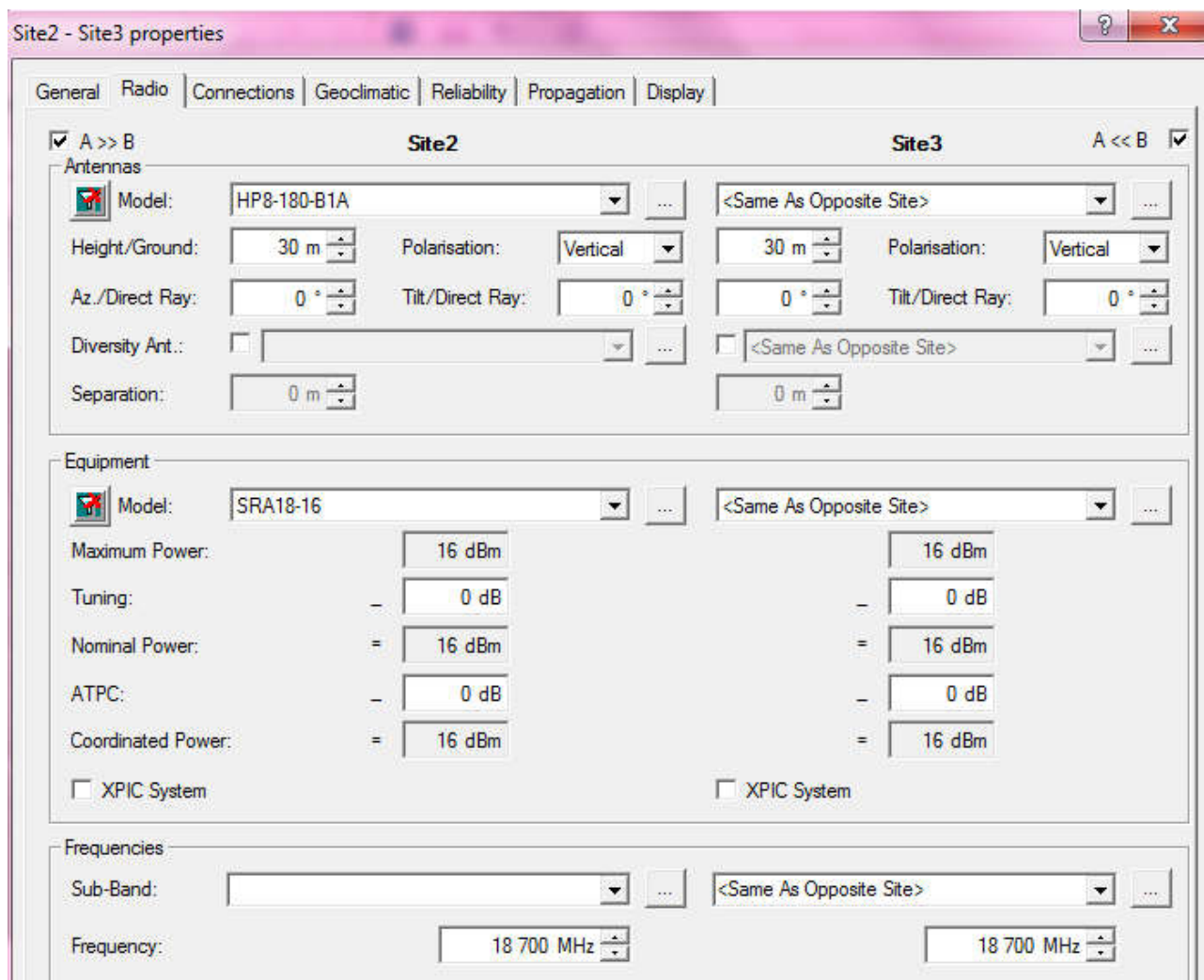


Рисунок 1.8 – Налаштування РРЛ

Тут можна налаштовувати висоту приймальної та передавальної антен (Height/Ground), поляризацію (Polarisation), тип обладнання і частоти, на яких йде передавання.

Для того, щоб відкрити профіль траси, необхідно спочатку виділити потрібну РРЛ натисненням лівої кнопки мишки і відкрити профіль траси натиском іконки ProfileAnalysis (рис. 1.9, 1.10):

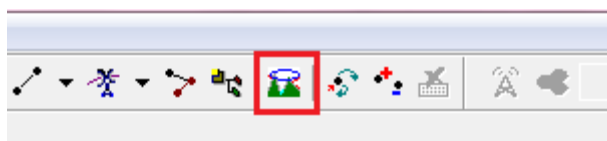


Рисунок 1.9 – Зовнішній вигляд іконки Profile Analysis

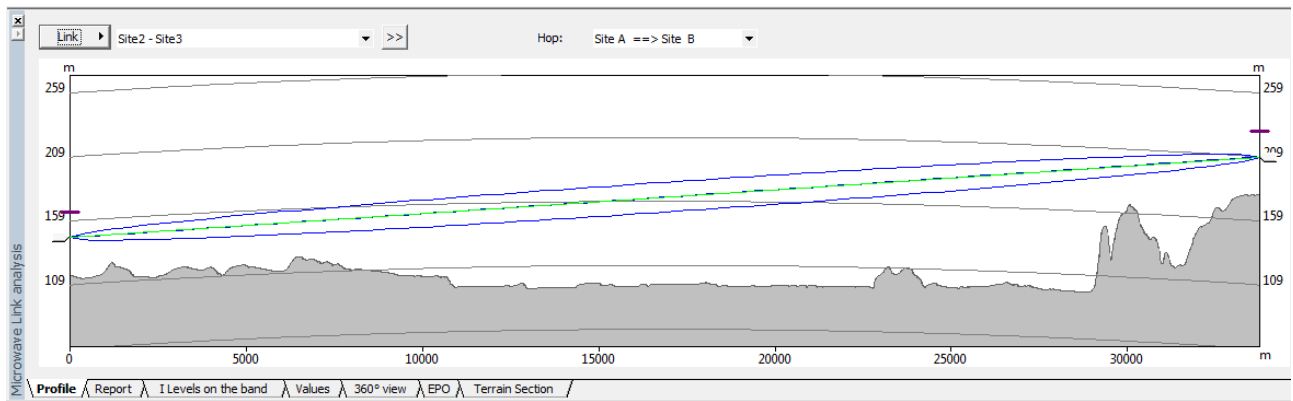


Рисунок 1.10 – Вигляд вікна аналізу профілю траси.

У вкладці Profile можна проаналізувати відстані та висоти, стан зони Френеля. Для автоматичної оптимізації можна натиснути на антені правою кнопкою мишки та вибрати Optimize. Для кількісного аналізу необхідно відкрити вкладку Values в даному вікні.

Для того, щоб поставити на РРЛ повторювач, необхідно натиснути на РРЛ правою кнопкою мишки та обрати “Insert repeater”, з наступним вибором точки його розташування.

### Порядок виконання роботи

1. Завантажити карту Київської області в такому порядку:
  - спочатку карту висот рельєфу;
  - потім карту завад.
2. Вимкнувши карту завад, розфарбувати карту висот рельєфу, щоб з'ясувати найвищі та найнижчі точки місцевості (діапазон висот змінювати від 0 до 210 м.).
3. Встановити систему координат, яка відповідає географічному розташуванню населених пунктів відповідно до варіанту (табл.1.1).
4. Відповідно до варіанту завдання прокласти РРЛ між двома населеними пунктами.

Таблиця 1.1 – Варіанти завдання

№ варіанту	Пункт А	Пункт В
1	м. Київ (Сирець)– висота антени 30м.	м. Васильків – висота антени 30м.
2	м. Бровари - висота антени 30м	сmt. Козин – висота антени 25м.
3	м. Бориспіль - висота антени 30м	м. Українка – висота антени 30м
4	м. Обухів – висота антени 30м	м. Бровари – висота антени 20м.
5	м. Вишгород – висота антени 30м	м. Ірпінь – висота антени 35м

5. Провести аналіз профілю РРЛ. Для цього необхідно натиснути кнопку Profile Analysis, щоб відобразити профіль РРЛ, та вибрати закладку Values, в якій треба проаналізувати:

- величину радіуса зони Френеля;
- величину просвіту;
- відсоток перекриття еліпсоїда Френеля.

6. За результатами аналізу змінити висоту антени в пункті В так, щоб просвіт становив 100%. Це можна зробити двома способами:

- вручну;
- автоматично оптимізувати.

### Зміст звіту

1. Номер та тема роботи на титульному аркуші.
2. Мета роботи та порядок виконання роботи на наступному аркуші.
3. Результати виконання роботи: за п.3 – знімок екрану вибору системи координат, за п. 4 – знімок екрану з проведеною РРЛ, за п.5, 6 – якісний та кількісний аналіз траси з відповідними знімками екранів до та після вжитих корекції висоти антени.



## Лабораторна робота №2

### ПОБУДОВА БАГАТОПРОЛЬОТНИХ РАДІОРЕЛЕЙНИХ ЛІНІЙ В ATOLL

**Мета роботи:** дослідити робоче середовище програми Atoll; отримати базові навички роботи з цифровими картами місцевості в програмному комплексі для проектування радіопокриття та багатопрольотними РРЛ.

#### Теоретичні відомості

**Робота в програмі Atoll.** Для побудови багатопрольотної РРЛ необхідно натиснути на іконку для роботи з багатопрольотними РРЛ New Multi-Hop (рис. 2.1):

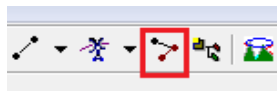


Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд іконки New Multi-Hop

Далі потрібно один раз клацнути на карті в точці, де ви хочете мати одну з антен багатопрольотної РРЛ, а на останній точці клацнути двічі.

Багатопрольотна РРЛ виділяється світло-синім кольором. Зовнішній вигляд багатопрольотної РРЛ показаний на рис. 2.2.

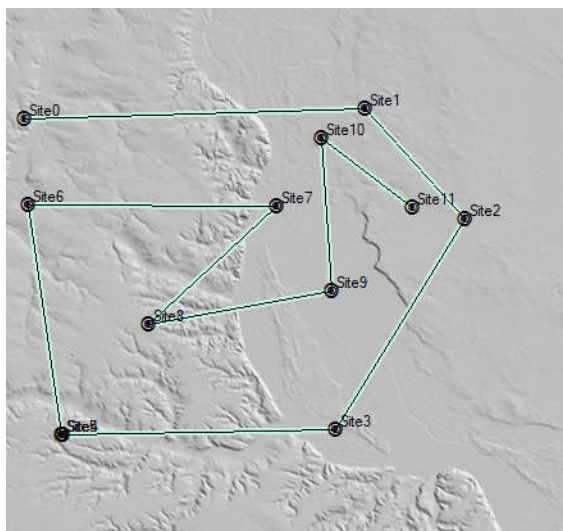


Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд багатопрольотної РРЛ

У вкладці Data вікна Explorer можна працювати з багатопрольотними РРЛ. Розкривши папку Microwave Radio Links та папку Multi-Hops всередині неї, можна створювати нові багатопрольотні РРЛ та модифікувати вже існуючі.

Для того, щоб створити нову багатопрольотну РРЛ, необхідно натиснути правою кнопкою мишки на папці Multi-Hops та обрати New у контекстному меню. Для того, щоб видалити багатопрольотну РРЛ, необхідно натиснути правою кнопкою на потрібному об'єкті в папці Multi-Hops та обрати Delete (рис. 2.3).

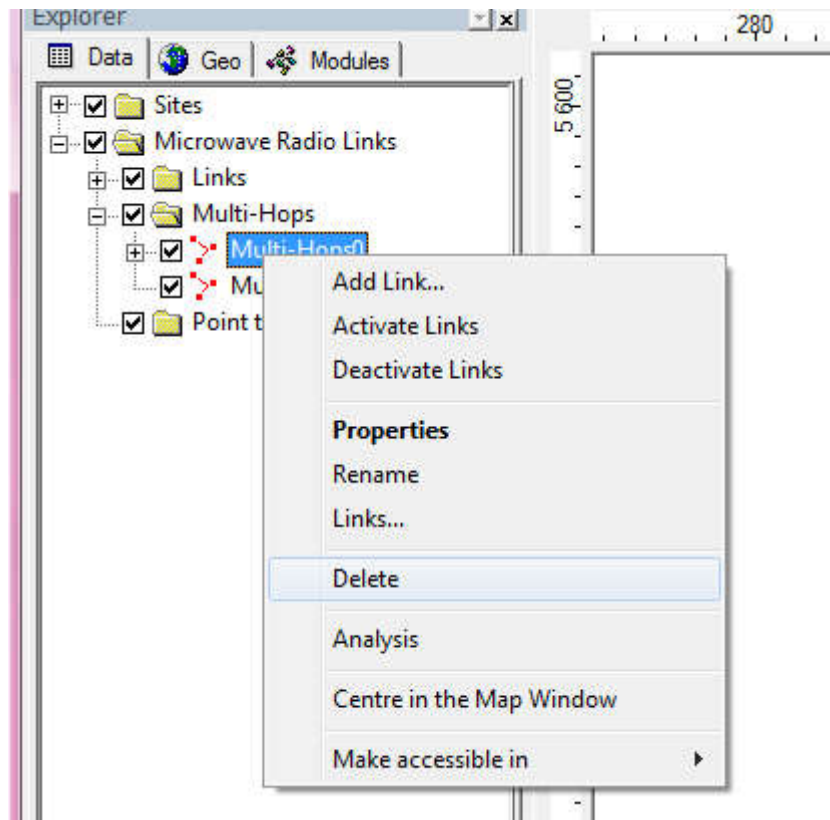


Рисунок 2.3 – Видалення багатопрольотної РРЛ

*Зауваження.* Видалення об'єкту не видаляє самі РРЛ. Вони залишаються на карті, просто припиняють бути прольотами однієї РРЛ.

Для того, щоб додати до багатопрольотної РРЛ новий прольот, необхідно натиснути правою кнопкою мишки на потрібній багатопрольотній РРЛ в папці Multi-Hops і обрати Add Link з наступним натисненням лівою кнопкою мишки на прольоті, який ви хочете додати до багатопрольотної РРЛ.



Для створення РРЛ типу точка-мультиточка необхідно натиснути на іконку New PMP (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд іконки New PMP

Далі першим кліком мишки на карті ви позначаєте центральну антену (хаб), наступними кліками – інші антени, під'єднані до хаба. Для припинення даної дії на останній точці треба клацнути не один раз, а двічі. Зовнішній вигляд РРЛ типу точка-мультиточка показаний на рис. 2.5.

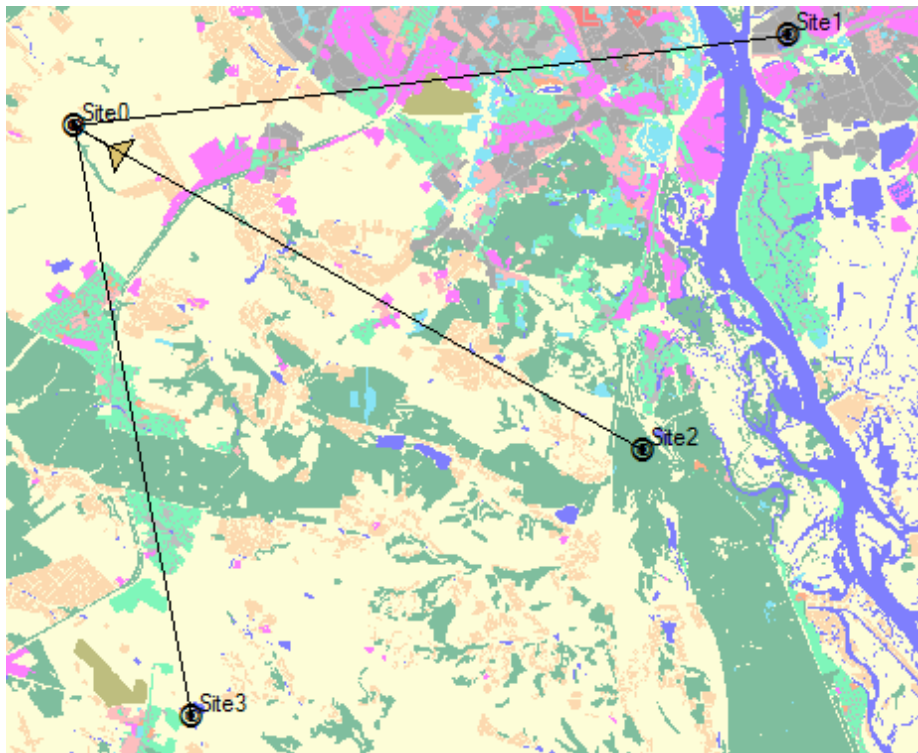


Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд РРЛ точка-мультиточка

Для автоматичних розрахунків параметра хаба необхідно відкрити папку Microwave Radio Links, далі відкрити папку Point to Multipoint, обрати РРЛ, що вас цікавить, натиснути на ній правою кнопкою мишки, обрати Properties і далі натиснути кнопку автоматичного розрахунку (рис. 2.6).

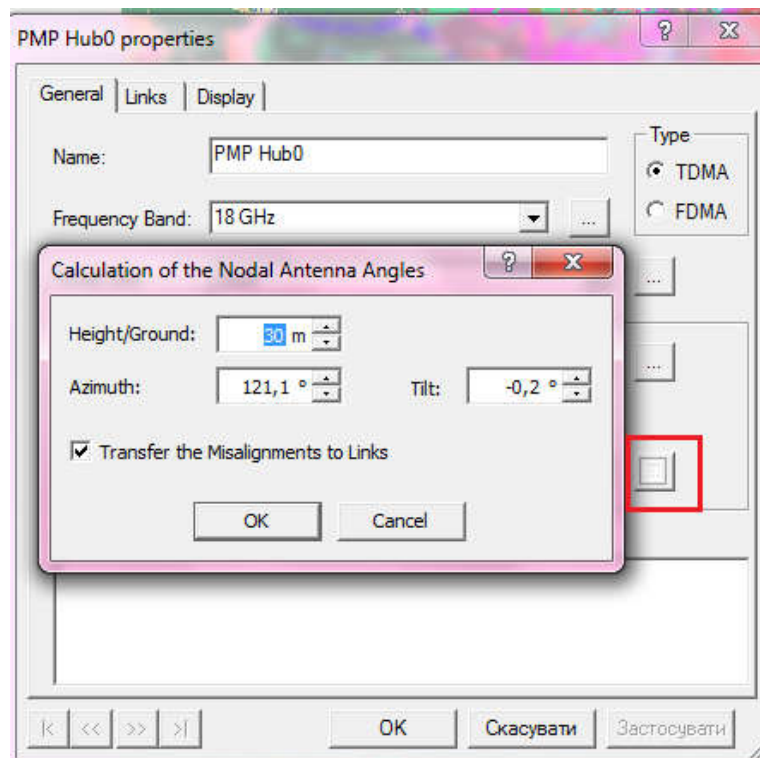


Рисунок 2.6 – Автоматичний розрахунок параметрів центральної антени

### Порядок виконання роботи

1. Створити проект в програмі Atoll, вибравши Microwave Radio Links.
2. Імпортувати в проект цифрові карти місцевості - карти висот рельєфу (height.grd), карти шумів та завад (clutter.grc).
3. Обрати систему координат, що відповідає розташуванню Київської області.
4. Використовуючи кнопку NewMulti-Hop, провести багатопрольотну РРЛ відповідно до варіанту завдання (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 - Варіанти завдання до п.4

№ варіанту	Пункт А	Пункт В	Кількість прольотів
1	м. Київ (Сирець)	м. Васильків	2
2	м. Бровари	сmt. Козин	3
3	м. Бориспіль	м. Українка	3
4	м. Обухів	м. Бровари	2
5	м. Вишгород	м. Ірпінь	2

5. Проаналізувати профілі трас. У разі відсутності прямої видимості поставити повторювачі.
6. Використовуючи вікно Explorer, видалити багатопрольотну РРЛ, залишивши всі РРЛ на місці.
7. Створити в Explorer нову багатопрольотну РРЛ і включити в неї лише два послідовні прольоти.
8. Повторити пункти 5-7 для РРЛ вигляду точка-мультиточка з центром у Києві, задавши кількість ліній відповідно до табл. 2.2.

Таблиця 2.2 - Варіанти завдання до п.8

1 Варіант	2 лінії
2 Варіант	3 лінії
3 Варіант	2 лінії
4 Варіант	3 лінії
5 Варіант	2 лінії

9. Налаштувати азимут та нахил антени-хаба.

## **Зміст звіту**

1. Номер та тема роботи на титульному аркуші.
2. Мета роботи та порядок виконання роботи на наступному аркуші.
3. Результати виконання роботи: за п.3 – знімок екрану вибору системи координат, за п. 4,8 – знімок екрану з багатопрольотною та точка-мультиточка РРЛ, за п.5,8 – якісний та кількісний аналіз трас з відповідними знімками екранів до та після вжитих заходів, за п.6 – знімок екрану після видалення інформації про багатопрольотну РРЛ, за п. 7 – знімок екрану після створення нової багатопрольотної РРЛ, за п. 9 – знімок екрану з розрахованими параметрами нодальної антени.

## **Лабораторна робота №3**

### **АНАЛІЗ БЮДЖЕТУ РАДІОЛІНІЇ ДЛЯ ПРОЛЬОТУ РРЛ**

**Мета роботи:** розподілити частотні канали між прольотами РРЛ; дослідити прольоти РРЛ на предмет втрат та завад

### **Теоретичні відомості**

Приймання та передавання НВЧ сигналів на радіорелейній станції відбуваються на різних частотах для уникнення утворення паразитних зв'язків між входом приймача та виходом передавача та між приймальними та передавальними антенами. Отже, для передавання сигналів по одному радіо стволу в одному напрямку зв'язку необхідно використовувати дві частоти. Для передавання сигналів у зворотньому напрямку можуть бути використані або ті ж дві частоти (двочастотна система), або дві інші частоти (чотирьохчастотна система).

Двочастотна система (рис. 3.1, а) економічна з точки зору використання смуги частот, що виділяється для радіорелейного зв'язку в даному діапазоні, але вимагає вищих захисних властивостей антен від приймання сигналів зі зворотнього напрямку. У двочастотній системі використовуються рупорно-параболічні, високоякісні осесиметричні антени та інші типи антен, що мають захисну дію -60-70 дБ.

Чотирьохчастотна система (рис. 3.1, б) допускає використання простіших та дешевших антенних систем. Однак кількість дуплексних радіо стволів, яка може бути утворена в даній смузі частот у чотирьохчастотній системі, в 2 рази менша, ніж у двочастотній системі. Як правило, в сучасній радіорелейній апаратурі застосовується двочастотна система. Чотирьохчастотна система зазвичай використовується на РРЛ з перископічними антенами в діапазоні 2 ГГц.



Рисунок 3.1 – Двочастотна система (а) та чотирьохчастотна система (б)

Частоти приймання та передавання в одному радіо стволі РРЛ чергуються від станції до станції. Станції, на яких приймання відбувається на нижчій частоті, а передавання – на вищій, позначаються символом "НВ", а станції, у яких навпаки – "ВН". Повторення через інтервал РРЛ одних і тих же частот допускається, оскільки в діапазонах дециметрових та сантиметрових хвиль у разі відсутності прямої видимості між антенами радіорелейних станцій, що розташовані через три інтервали, ослаблення сигналу, як правило, достатньо велике. Однак за деяких умов розповсюдження радіохвиль, наприклад, у випадку підвищеної рефракції, можливе приймання сигналу від станції, що на відстані трьох інтервалів, що приводить до значних спотворень сигналів, що

передаються. Для уникнення цього станції РРЛ мають розташовуватись на ламаній лінії з тим, щоб паразитний сигнал ослаблювався за рахунок направлених властивостей антен (рис. 3.2).

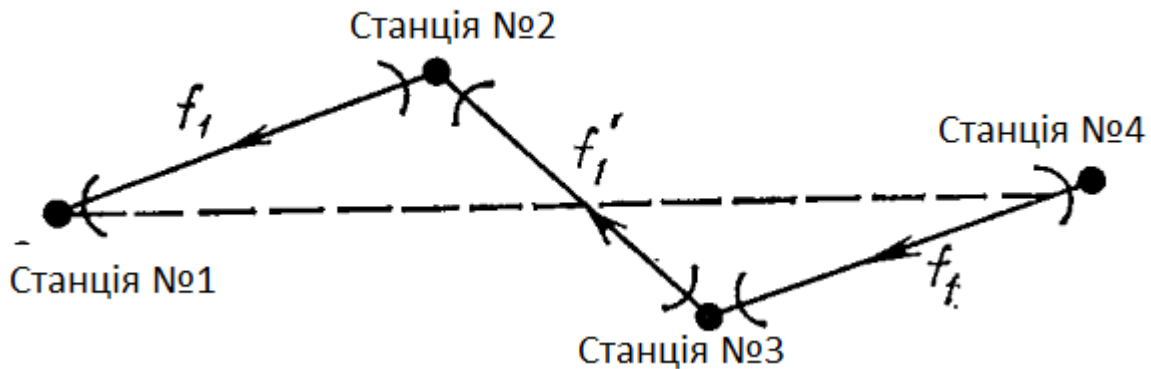


Рисунок 3.2 – Схема ділянки траси РРЛ

Плани розподілення частот для багато ствольних РРЛ розроблені таким чином, щоб звести до мінімуму інтерференційні завади, що виникають у випадку одночасної роботи кількох приймачів та передавачів на загальний антенно-фідерний тракт.

В усіх сучасних радіорелейних системах застосовуються плани радіочастот, в котрих частоти приймання розміщаються в одній половині відведеної смуги частот, а передавання – в іншій половині.

Структурна схема радіорелейної станції, що використовує даний принцип, наведена на рис. 3.3. Для приймання та передавання сигналів використовується одна загальна антена. Система розділюючих фільтрів розрахована на роботу лише в половині смуги частот, що відведена для радіорелейної системи. Тракти приймання та передавання об'єднуються в загальний тракт за допомогою поляризаційного фільтра або феритового циркулятора (УС).

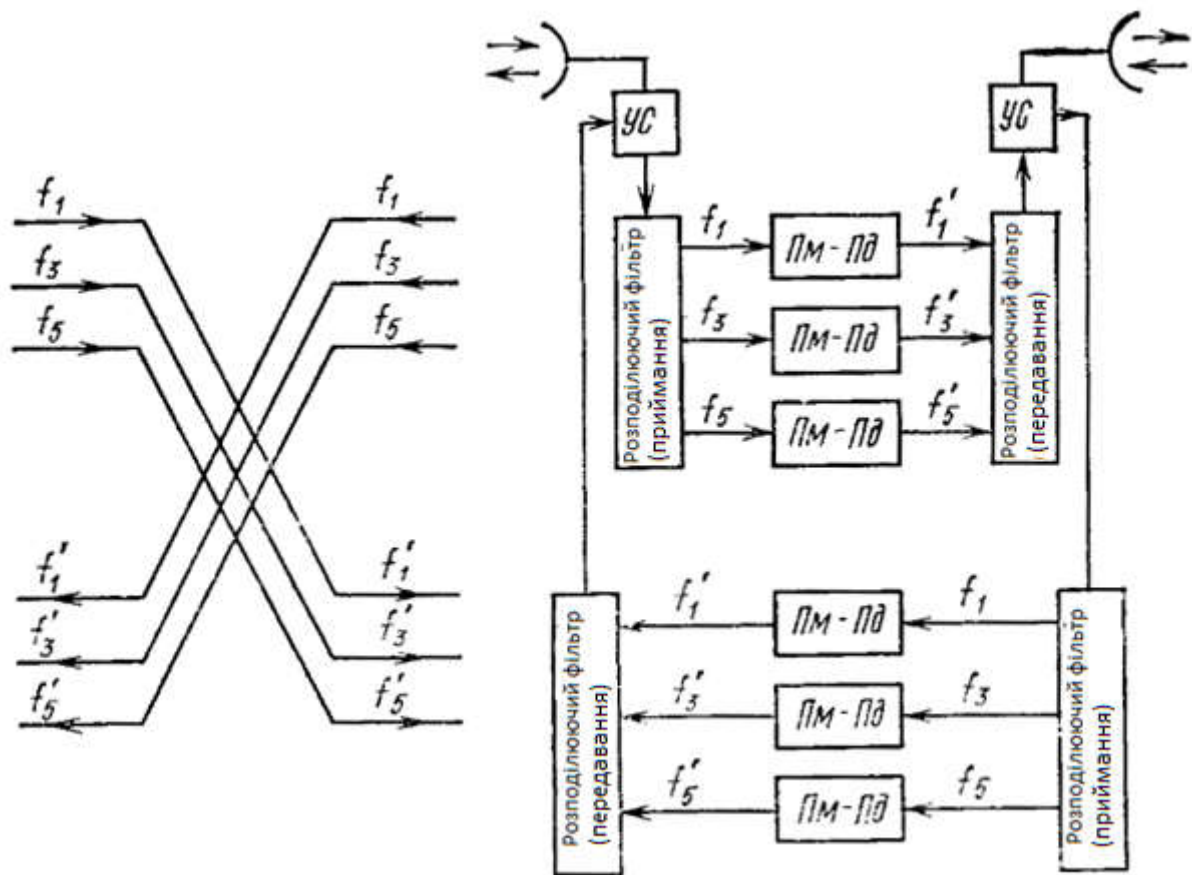


Рисунок 3.3 – Система з рознесеними частотами приймання та передавання

**Робота в програмі Atoll.** Для налаштування частотних каналів необхідно двічі клацнути на РРЛ і у вікні налаштувань, у вкладці Radio, в частині Frequencies обрати ширину частотного каналу Sub-band, обрати, яка антена буде передавати на нижній частоті, яка – на верхній у Half-band, і обрати, які канали використовуються у Channels (рис. 3.4).

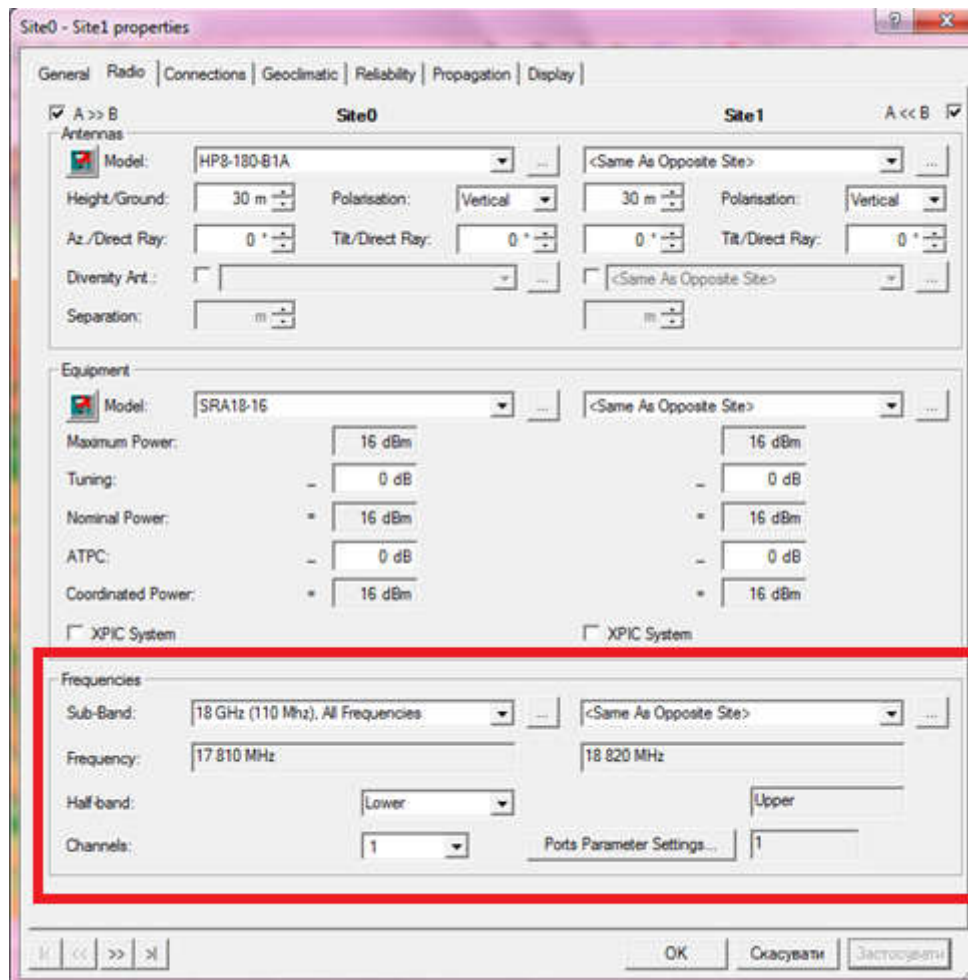


Рисунок 3.4 – Налаштування частот для РРЛ

Для отримання звіту про прольот необхідно або натиснути правою кнопкою на прольот на карті, у контекстному меню вибрати Engineering – Report, або зробити те саме у вкладці Data вікна Explorer.

Для розрахунку бюджету радіоліній необхідно у вкладці Data натиснути правою кнопкою на Links, у контекстному меню обрати LinkBudgets – Calculate. У вікні, що з'явиться, виконати необхідні налаштування та натиснути ОК (рис. 3.5).



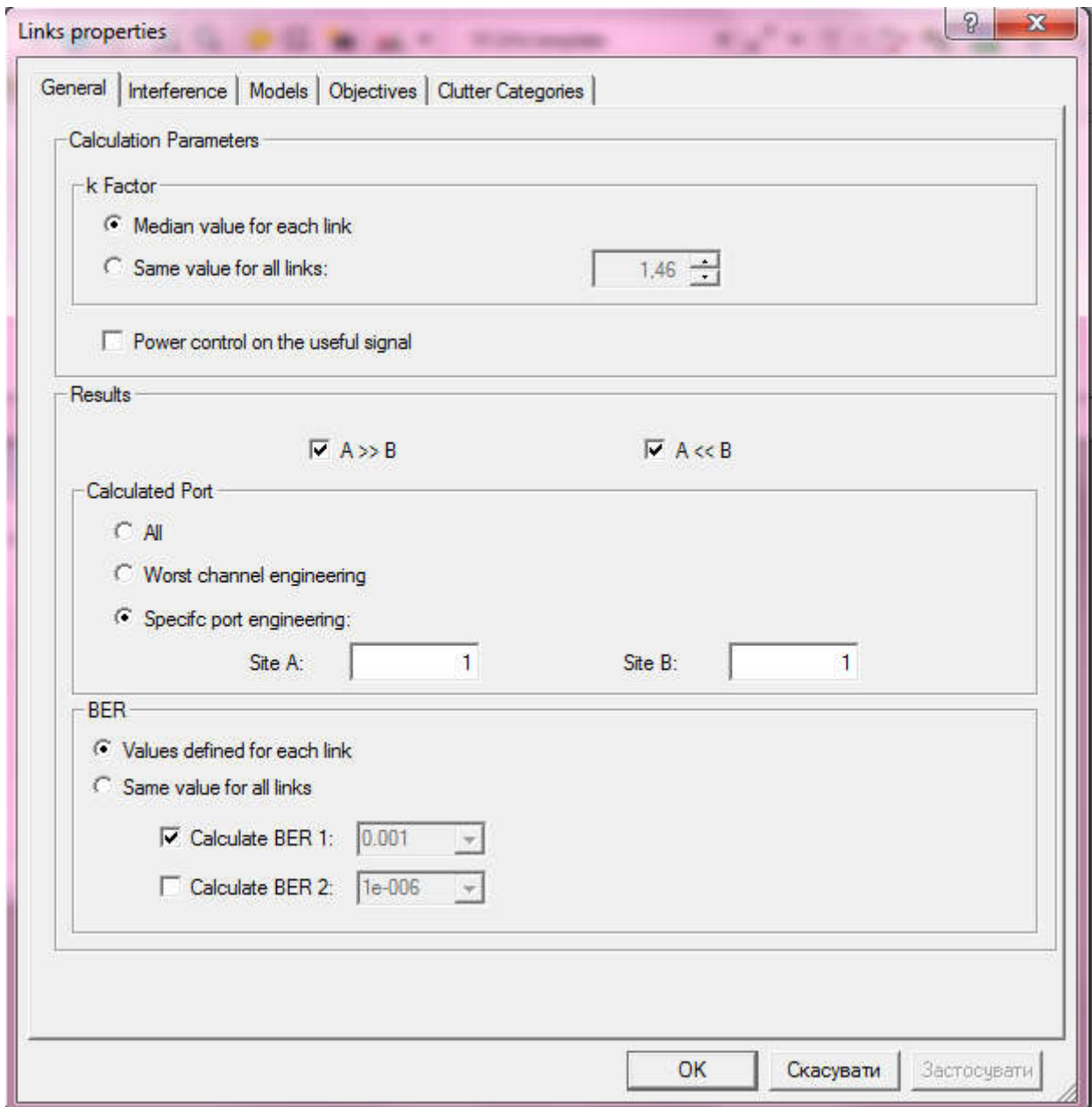


Рисунок 3.5 – Вікно налаштувань розрахунку LinkBudget

Після натиснення кнопки ОК з'явиться результуюча таблиця розрахунків.

Для виконання End-to-end analysis необхідно у вкладці Data в папці Multi-hops обрати необхідну багатопрольотну РРЛ, натиснути на неї правою кнопкою мишки і натиснути Analysis у контекстному меню. Вигляд аналізу показаний на рис. 3.6.

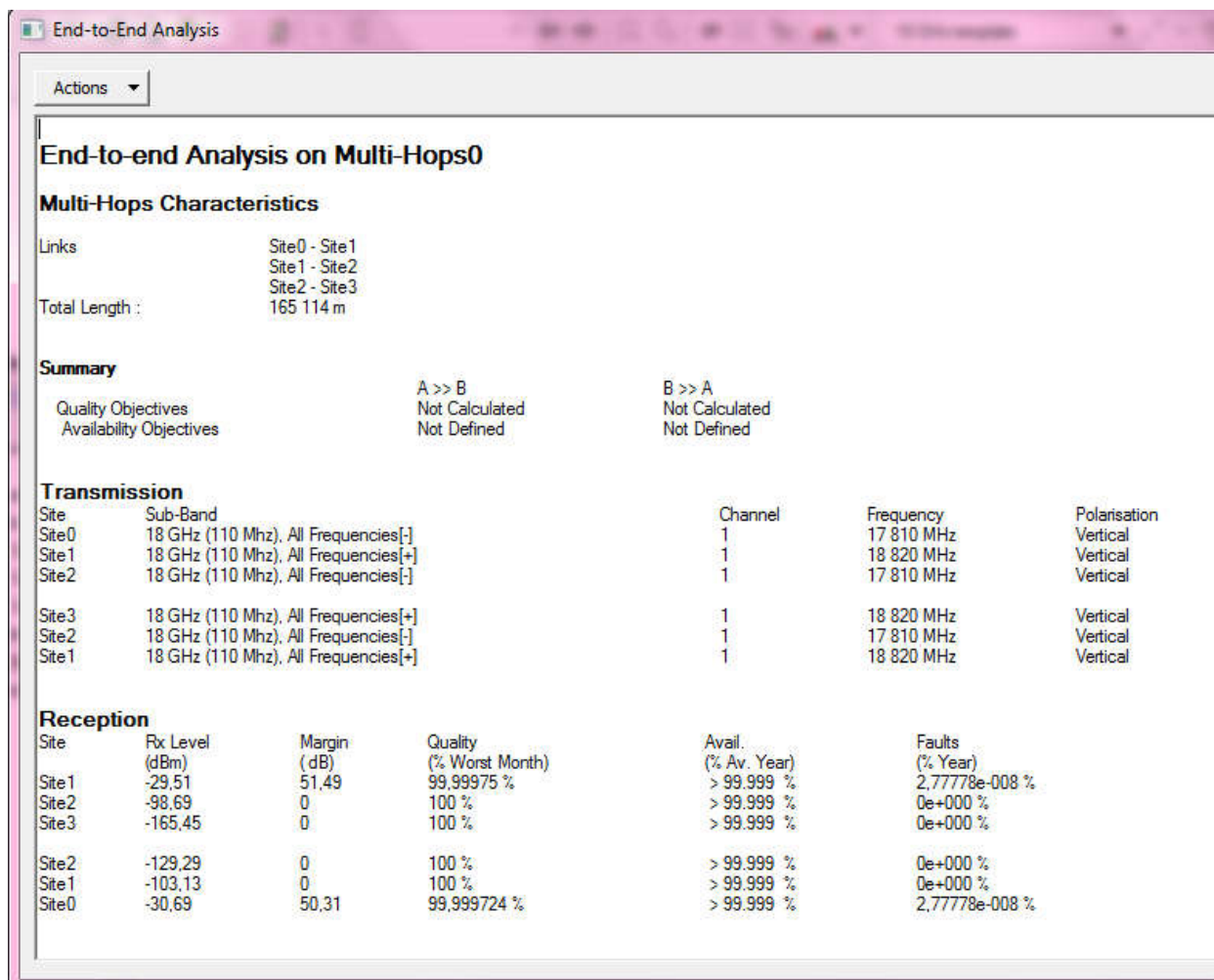


Рисунок 3.6 – End-to-endanalysis

Для аналізу завад необхідно натиснути правою кнопкою на потрібний прольот, обрати у контекстному меню Planning – InterferenceDetails.

Для розрахунку завад на карті необхідно натиснути правою кнопкою мишки на Links, обрати з контекстного меню Interferences – Calculate.

Для напівавтоматичного пошуку каналів для однієї з РРЛ необхідно натиснути правою кнопкою на РРЛ, для якої потрібно це зробити, і в контекстному меню обрати Planning – Semi-automatic search. В результаті з'явиться спеціальне вікно (рис. 3.7).

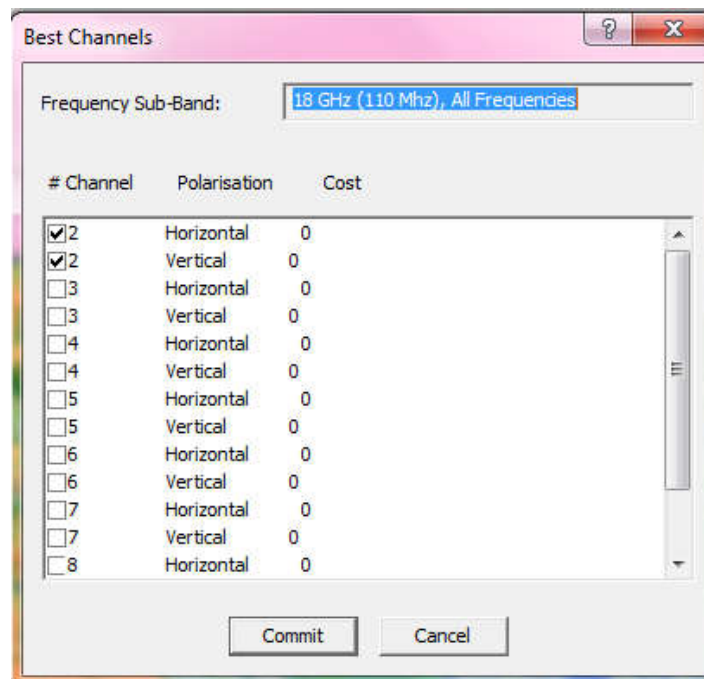


Рисунок 3.7 – Вікно напівавтоматичного пошуку каналів

Після натиснення Commit налаштування РРЛ зміняться відповідно до розрахунків програми, після натиснення Cancel не зміниться нічого.

### Порядок виконання роботи

1. Відкрити файл з багатопрольотною РРЛ із лабораторної роботи №2.
2. Налаштувати частотні канали для кожного прольоту відповідно до варіанту завдання (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 - Варіанти завдання

№ варіанту	Кількість каналів РРЛ	Діапазон частот для передавання-приймання
1	2	нижня - верхня
2	3	верхня - нижня
3	1	верхня - нижня
4	3	нижня - верхня
5	2	нижня - верхня

3. Отримати звіт про кожний з прольотів РРЛ (правою кнопкою миші нажимаємо на потрібний прольот та обираємо Engineering – Report).
4. Автоматично розрахувати бюджет РРЛ для всіх прольотів (необхідно обрати в переліку Link, потім правою кнопкою миші Link Budget – Calculate).
5. Виконати аналіз всіх прольотів від початкової антени до кінцевої (правою кнопкою миші на Multi Hop – Analysis).
6. Провести аналіз завад для одного прольоту РРЛ (обрати необхідний прольот та правою кнопкою миші обираємо Planning – Interference Details).
7. Розрахувати завади для всіх РРЛ на карті (в закладці Data правою кнопкою миші на Links – Interferences – Calculate).
8. Виконати напівавтоматичний пошук каналів для одного прольоту РРЛ (виділити необхідний прольот та натиснути праву кнопку миші, обрати Planning – Semi-automatic search).

### **Зміст звіту**

1. Номер та тема роботи на титульному аркуші.
2. Мета роботи та порядок виконання роботи на наступному аркуші.
3. Результати виконання роботи: за п.2 – знімок екрану налаштувань РРЛ, за п.3 – знімок екрану зі звітом про один з прольотів, за п.4 – результуюча таблиця після автоматичного розрахунку Link Budget, за п.5 – результат End-to-end аналізу, за п.6 – результати аналізу завад для однієї РРЛ, за п. 7 – таблиця розрахунків завад для всіх РРЛ, за п.8 – результати та висновки щодо напівавтоматичного пошуку каналів для однієї РРЛ.

## Лабораторна робота №4

### ДОСЛІДЖЕННЯ СУПУТНИКОВОГО КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ ЗАСОБАМИ ПРОГРАМИ MATLAB

**Мета роботи:** Дослідити особливості роботи супутникового зв'язку, використовуючи модель, розроблену в програмі Matlab.

#### Теоретичні відомості

В залежності від кута між площинами орбіти супутника та екватора Землі розрізняють полярні, з нахилом та екваторіальні орбіти.

Якщо супутник рухається за полярною орбітою або орбітою з нахилом, то потрібно відслідковувати його положення й антену необхідно підлаштовувати для отримання сигналу з супутника. Для цього потрібне спеціальне дороге обладнання, яке важко встановити та обслуговувати.

Якщо ж супутник використовує так звану екваторіальну геостаціонарну орбіту (ГСО), то для наземного спостерігача цей супутник здається нерухомим та таким, що постійно перебуває в одній точці.

**Геостаціонарна орбіта** знаходиться в площині екватора Землі та має нульове відхилення. Висота над поверхнею Землі 35876 км, радіус геостаціонарної орбіти – 42241 км, а довжина – 265409 км. Лише у разі повного дотримання цих параметрів можна досягнути "непорушності" супутника відносно спостерігача з землі. Наразі майже всі супутники комерційного призначення використовують саме ГСО.

Кількість супутників, з яких можливе приймання сигналу в певному місці, напряму залежить від віддаленості екватора. Для спостерігача з Землі видна лише частина геостаціонарної орбіти в вигляді дуги над горизонтом.

Чим північніше широта, тим менша видима в даному місці "дуга". Це визначає кількість видимих фізично супутників. Вже на широті 75° приймання

ускладнено, а вище 80° майже неможливий, оскільки кут, під яким сигнал з супутника проходить над поверхнею землі (кут місцевості) дуже малий. Внаслідок цього виникають проблеми через затінення супутника місцевими предметами та збільшення рівня завад від наземних радіотехнічних засобів.

Широта може бути північна – N та південня – S, а довгота західна – W та східна E. Оскільки геостаціонарні супутники розташовані на екваторіальній орбіті і для спостерігача з Землі здаються непорушними – "висять" на одному місці, то положення супутника описується лише одним параметром – довготою.

З метою спрощення, значення кутів азимута приводяться відносно південного, а не північного полюса. Це загальноприйнята система.

Наприклад, розшифровки наступних супутників: "Hotbird" (13°E) – назва супутника "Hotbird", розташування - 13° східної довготи. Аналогічно: "Amos" (4°W) – "Amos", розташування - 4° західної довготи.

Попри всі позитивні якості супутників, що розташовані на геостаціонарній орбіті, наявні також і негативні:

- В одній позиції можуть перебувати кілька супутників на невеликій відстані один від одного. З цієї причини виникає перенасичення геостаціонарної орбіти на багатьох ділянках великою кількістю супутників.

- Неможливість передавання сигналу на приполярні райони Землі – кут місця занадто малий.

Антену має бути точно налаштована на необхідний супутник за двома координатами: азимутом та кутом місця. **Кут місця** – це кут між напрямом на супутник та площиною горизонту. **Азимут** – відхилення супутника від напрямку на північ та площиною горизонту (за годинниковою стрілкою).

**Втрати у вільному просторі.** Добре відомо, що втрати в вільному просторі можуть бути визначені як функції відстані та довжини хвилі наступним чином:

$$L_s = \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

або в дБ:

$$L_s = 92,45 - 20\log(fd),$$

де  $f$  – частота в гігаГерцах,  $d$  – відстань в кілометрах.

Для всіх цих реалістичних смуг пропускання різниця у втратах в межах смуги частот незначна. Для відстані 2 км втрати в вільному просторі на частоті 30 ГГц – приблизно 128 дБ, тоді як для відстані 8 км – 140 дБ.

**Втрати під час дощу.** Ослаблення від осадів може в багатьох випадках бути найсуттєвішою загрозою готовності та QoS. Для того, щоб отримати необхідну готовність системи, необхідно включити в розрахунки бюджету лінії зв'язку запас на дощ. Ослаблення залежить від розмірів краплі, форми краплі, інтенсивності дощу та району, накритого дощем. Ці фактори в залежності від клімату та карти регіону дощу були запропоновані ITU-R.

Карти показують рівень ослаблення в дощі, яке має бути включене в бюджет зв'язку для певного регіону та заданої степені готовності системи. Приклади для Даласа та Чикаго показують втрати на 2,28 дБ/км та на 3,95 дБ/км для готовності системи 99,9% відповідно. Ослаблення в дощі зв'язані з інтенсивністю дощу експоненційною залежністю:

$$\alpha = aR^b [\text{дБ/км}]$$

де інтенсивність дощу  $R$  має розмірність [мм/год]. Параметри  $a$ ,  $b$  залежать від факторів, що вказані вище, а їхні значення для різних кліматичних регіонів та місцезнаходжень доступні в літературі та ґрунтуються на вимірах та статистичних розрахунках.

Дисперсія в дощі є незначною, тобто багатопроменевість внаслідок дощу відсутня. Однак коли форма крапель не є сферичною, ослаблення залежить від поляризації сигналу.

### **Поглинання чистим повітрям**

Молекулярний кисень та водяний пар призводять до додаткового ослаблення, яке повільно змінюється у разі зміни температури, тиску та вологості. Спектр водяної пари має слабку спектральну лінію поглинання на частоті 22,235 ГГц та сильніші лінії на 183,3 ГГц та вище. Спектр кисню має

кілька сильних ліній, зосереджених коло 60 ГГц, ще більше – на 119 ГГц та вище.

### Спотворення через високопотужний підсилювач

Високопотужні підсилювачі (НРА) через свою не лінійність створюють продукти інтермодуляції (ІМР). Нелінійність має двояку дію на систему передавання. Перша з них – спектральне розширення сигналу, яке призводить до поза смугової інтерференції або інтерференції по сусідньому каналу (АСІ) в багатоканальному сигналі. Другий ефект – спотворення компонентів сигналу в межах смуги пропускання каналу. Оскільки вихідна характеристика формуючого імпульс фільтра переносить спотворення, узгоджений фільтр приймача вже не є узгодженим до сигналу, що передається, що призводить до міжсимвольної інтерференції (ISI). Робота НРА близько до насичення шкодить за рахунок нелінійних ефектів. Простий метод запобігання нелінійних спотворень – уменшення на кілька децибелів вихідної потужності відносно режиму насичення та підтримання рівня сигналу в області лінійного підсилення.

На жаль, це призводить до нижчої вихідної потужності та менш ефективної роботи НРА. Як наслідок, у проектуванні системи необхідно досягнути компромісу між ККД та лінійністю. Рисунок 4.1 показує модель системи, що використовується для оцінки дії на НРА. Вона містить формувальний фільтр, пристрій попередніх спотворень та НРА.



Рисунок 4.1 – Модель системи для вивчення дії ефектів нелінійності НРА



### Формувальний фільтр

З метою розгляду дії НРА на параметри системи необхідно знати характеристики вхідного сигналу. Формувальний фільтр – це фільтр з характеристикою типу "корінь квадратний з припіднятого косинуса", відгук якого має вигляд:

$$\sqrt{Nyq} = \frac{\left(\frac{4\alpha}{T}\right) \cos\left(\frac{\pi(1+\alpha)t}{T}\right) + \sin\left(\frac{\pi(1-\alpha)t}{T}\right)}{\left(\frac{\pi t}{T}\right) \left(1 - \left(\frac{t\alpha t}{T}\right)^2\right)}$$

де  $\alpha < 1, \alpha > 0$  - це коефіцієнт косинусного скруглення всього фільтру Найквіста, а  $T$  - це тривалість символу. Імпульсний відгук теоретично нескінченний. Однак в моделюванні він обмежується загальною довжиною  $2LT$ . Затримка дорівнює  $LT$ . В сучасних комунікаціях, що мають обмежені частотні ресурси, коефіцієнт скруглення повинен бути малим, що призводить до зменшення смуги. З малими значеннями  $\alpha$  пов'язані недоліки, котрі полягають в великій чутливості до перевантажень у разі зміни рівня сигналу

### Підсилювач на лампі біжучої хвилі (TWT)

З метою моделювання нелінійних ефектів була використана загальноприйнята модель підсилювача на TWT. Вхідний сигнал підсилювача можна представити як:

$$x(t) = A(t)\cos[\omega_0 t + \theta(t)]$$

Нелінійні спотворення можуть бути миттєвими або з запам'ятовуванням. В основному полягають, що вони є миттєвими, і гіпотетично утримуються, коли всі сталі часу схеми значно менші, ніж частотний діапазон, який займає огинаюча сигналу. Вихідний сигнал проходить через як амплітудні, так і фазові спотворення:

$$y(t) = G[A(t)]\cos\{\omega_0 t + \theta(t) + \Theta[A(t)]\}$$

$$G(A) = \frac{\alpha_1 A}{1 + \beta_1 A^2}, \Theta(A) = \frac{\alpha_2 A^2}{1 + \beta_2 A^2}$$

Параметри  $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$  в основному знаходяться шляхом мінімально-квадратичної апроксимації амплітудної та фазової характеристик TWT.

### **Фазовий шум та синхронізація носійної за фазою**

Головним джерелом фазового шуму є гетеродин міліметрового діапазону. Приймач може втрачати синхронізацію за фазою через фазове тремтіння або циклічне проковзування. У процесі кодування, що не забезпечує ротаційну інваріантність, втрати синхронізації призводять до довгих пакетних похибок. У разі PTSM кодування, що забезпечує повну ротаційну інваріантність, фазове тремтіння буде призводити до коротких пакетних похибок на виході декодера PTSM. Коли синхронізація відновлюється, декодер буде швидко підправляти сам себе. Деперемежувач буде розподіляти пакетні похибки, а блочний декодер – корегувати похибки байтів. Таким чином, фазове тремтіння не буде чинити великий вплив на BER. Підвищення не чуттєвості до втрати фазової синхронізації відображається на конструкції малошумливого підсилювача та ГКН, що дозволяє використовувати компоненти нижчої вартості.

**Робота в програмі Matlab.** Для відкриття моделі необхідно у програмі Matlab відкрити меню Help, обрати Demos, у вікні, що з'явиться, обрати: Communication Blockset – Demos – Simulink Demos – Channel Models and Impairments – RF Satellite Link. Далі в правій верхній частині екрану необхідно натиснути Open this model. Модель показана на рис. 4.2.

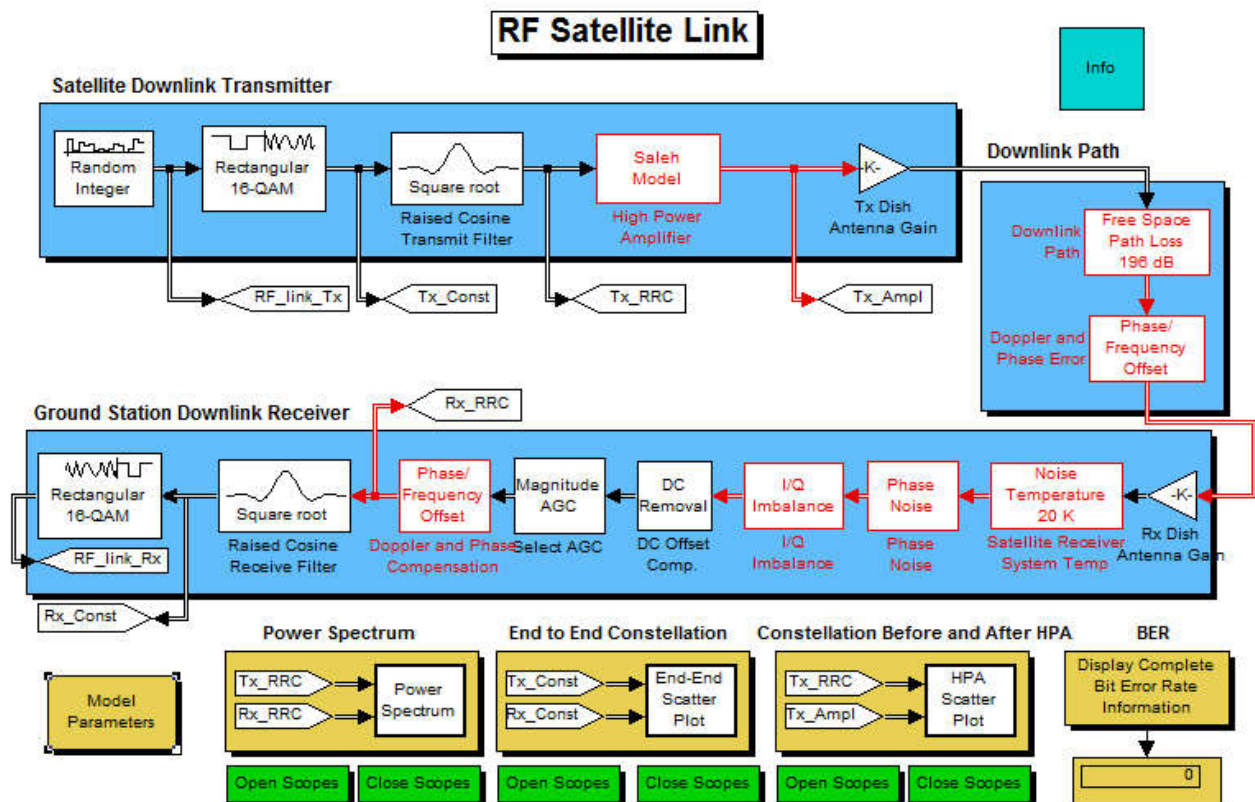


Рисунок 4.2 – Схема моделі супутникового каналу зв'язку

Для того, щоб подивитись спектр сигналу, сигнальні сузір'я передавача та приймача, а також сигнальні сузір'я до та після високопотужного підсилювача, необхідно натиснути відповідні кнопки OpenScores. Щоб закрити ці вікна – натиснути CloseScores. Імовірність помилки у біті можна подивитись у вікні BER.

Для зміни параметрів моделі необхідно двічі клацнути на блоці Model Parameters. В результаті з'явиться вікно, показане на рис. 4.3.

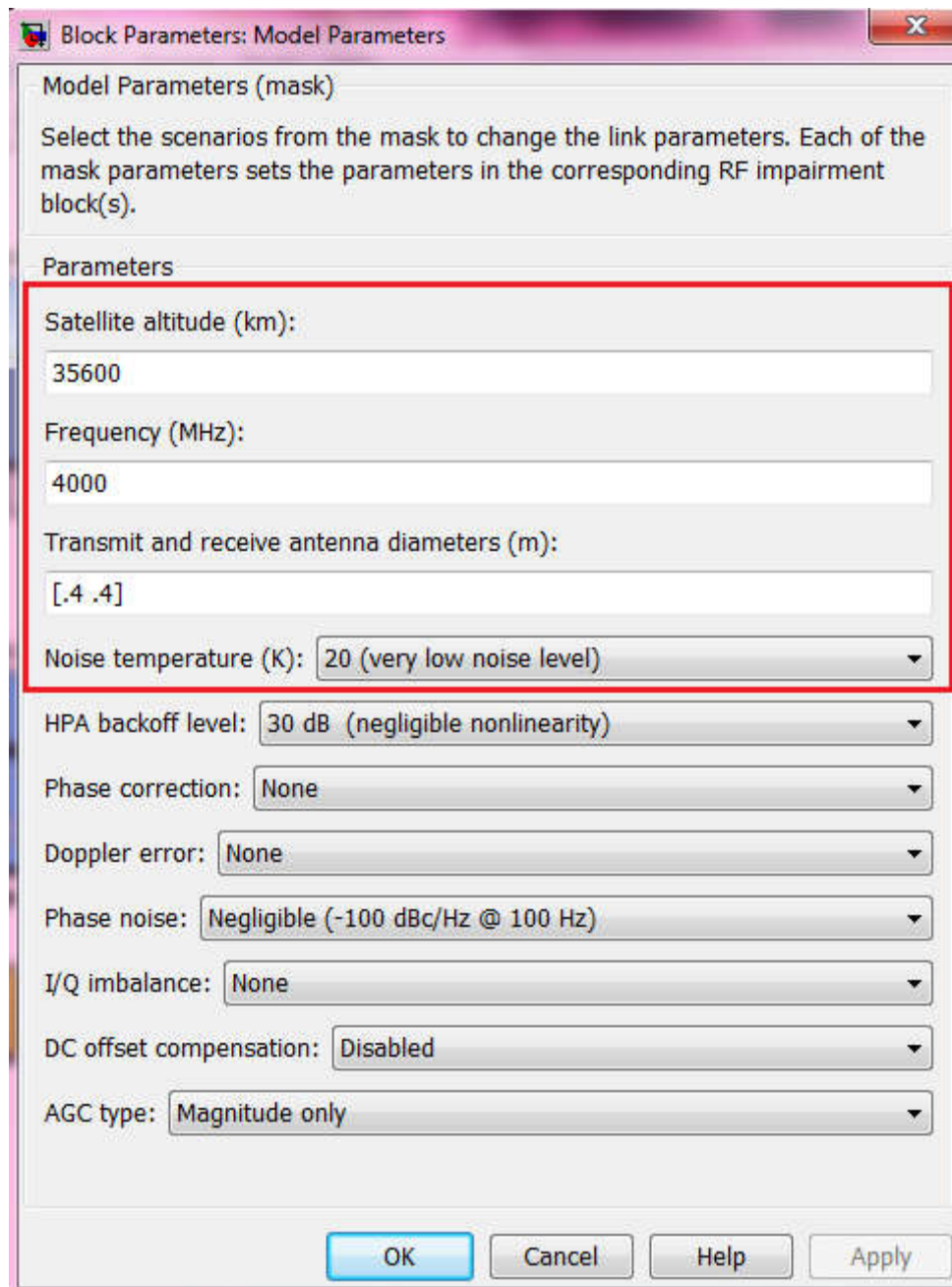


Рисунок 4.3 – Вікно зміни параметрів моделі

В даному вікні можна змінювати такі параметри, як:

- висота розташування супутника (Satellite altitude);
- частота, на якій передається сигнал (Frequency);
- діаметри передавальної та приймальної антен (Transmit and receive antenna diameters);
- шумова температура (Noise temperature);
- запас нелінійності високопотужного підсилювача (HPA backoff level);

- вид фазової корекції (Phase correction);
- параметри ефекту Доплера (Doppler error);
- параметри фазового шуму (Phase noise);
- параметри дисбалансу квадратурної модуляції (I/Q imbalance);
- компенсація зсуву постійного струму (DC offset compensation);
- тип АРП (AGC type).

В даній лабораторній роботі необхідно задати параметри, позначені на рис.

4.1 червоним прямокутником, та змінювати інші параметри моделі у відповідності до порядку виконання роботи.

### **Порядок виконання роботи**

1. Відкрити модель RF Satellite Link;

2. З'ясувати перетворення сигналу, які мають місце під час його передавання через супутникову лінію (канал) зв'язку, проаналізувати структуру наданої моделі. З'ясувати основні фактори, які можуть впливати на функціонування супутникової лінії зв'язку.

3. Відповідно до варіанту завдання (табл. 4.1) задати параметри моделі та отримати знімки екрану для:

- а) сигнальних сузір'їв передавальних та приймальних сигналів;
- б) спектру передавального та приймального сигналу;
- в) сигнального сузір'їв перед та після підсилювача потужності.

Таблиця 4.1 – Початкові дані

Варіант	Висота супутника (км.)	Частота (МГц)	Діаметр передавальної та приймальної антен (м)	Шумова Температура (К)
1	35600	11000	5 - перед., 0,4 - прийм.	20
2	35600	4500	7 - перед., 0,9 - прийм.	20
3	9500	4000	0,4 - перед., 0,4 - прийм.	270
4	9500	1500	5 - перед., 0,4 - прийм.	270
5	35600	12000	5 - перед., 0,4 - прийм.	20

4. Дослідити вплив на функціонування лінії зв'язку :

- нелінійності підсилювача потужності без та з корекцією фази (h<sub>ra</sub> backoff level);
- доплерівського зсуву та фазового шуму;
- дисбалансу IQ-складових з наявністю та відсутністю компенсації постійного зсуву.

Зробити відповідні знімки екрану, пояснити отримані результати.

5. Отримати значення імовірності бітової помилки для кожного із випадків, описаних у п.4.

6. Зробити висновки.

### Зміст звіту

1. Номер та тема роботи на титульному аркуші.
2. Мета роботи та порядок виконання роботи на наступному аркуші.
3. Результати виконання роботи: за п.2 – пояснення основних факторів, які можуть впливати на функціонування супутникової лінії зв'язку; за п.3 – знімки сигнальних сузір'їв та спектру для початкових налаштувань моделівідповідно до варіанту; за п.4 – знімкиекрану відповідно до змін параметрів моделі.

## Лабораторна робота №5

### ПОЗИЦІОНУВАННЯ ПРИЙМАЛЬНОЇ АНТЕНИ СУПУТНИКА

**Мета:** З'ясувати принципи функціонування моторизованого підвісу та принципи налаштування супутникової антени на заданий супутник за його допомогою.

#### Теоретичні відомості

Є два основні типи моторизованої системи керування супутниковою антеною.

Перший тип моторизованої супутникової антени – це єдиний блок керування антеною. В цьому блоці суміщені в один корпус сам електропривод та електронна плата позиціонера, що керує положенням супутникової антени (рис. 5.1).



Рисунок 5.1 – Супутниковий мотопідвіс Super Jack DG-120

Другий тип моторизованої антени – позиціонер та актуатор. Супутниковий позиціонер (рис. 5.2) – це електронний прилад, котрий керує механізмом виконання, і при цьому тримає в пам'яті позиції супутників, на котрі було виконано попереднє налаштування. Сучасні позиціонери керуються як з власного дистанційного пульта керування, так і безпосередньо через сам супутниковий ресівер.



Рисунок 5.2 – Зображення позиціонера та актуатора

Супутниковий актуатор – електромеханічний привод (чи електронно-механічний), котрий приводить у дію дзеркало супутникової антени. Такий привід керується позиціонером.

Конструкція мотопідвісу складається з трьох частин. Перша частина – це зігнута під певним кутом труба (хобот), котра тут грає роль полярного підвісу. Друга частина – металічний корпус, всередині котрого стоять шестерневий редуктор з електродвигуном та електронна плата позиціонера (рис. 5.3).



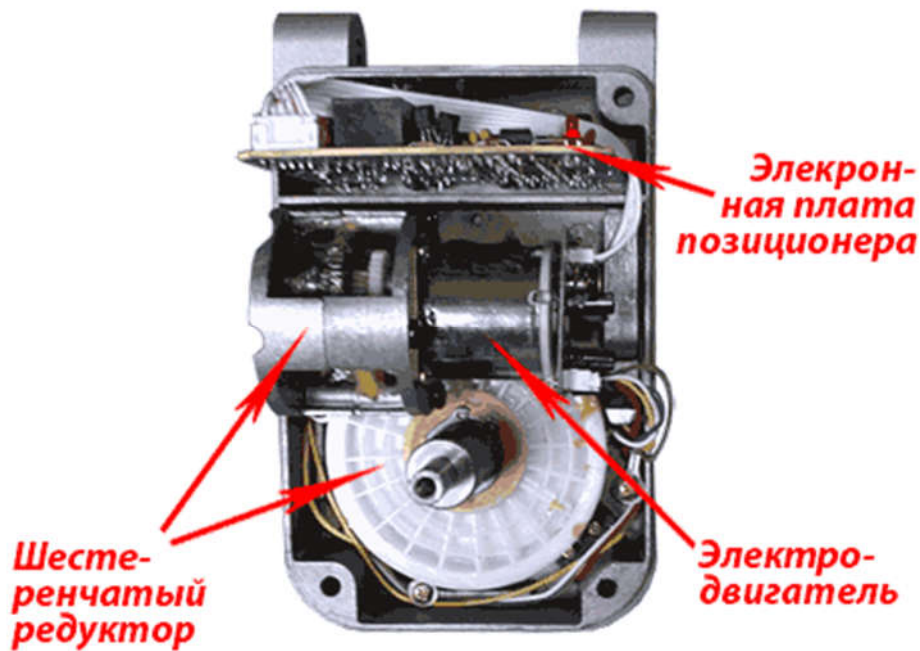


Рисунок 5.3 – Розташування деталей в корпусі мотопідвісу Super Jack DG-120

Загальний принцип роботи мотопідвісу: сигнали керування, що йдуть із супутникового ресівера, поступають на електронну плату позиціонера. Позиціонер, в свою чергу, подає напругу певної полярності на електродвигун редуктора мотопідвісу, при цьому контролюючи кожен оборот вала електромотора. В залежності від полярності напруги, що живить електродвигун, хобот мотопідвісу повертається в ту чи іншу сторону.

Під великою шестернею редуктора розташовані три кінцеві перемикачі, при цьому два крайні перемикачі відповідають за західну та східну аварійну межу повороту хобота мотоподвісу, а середній – для визначення нульової позначки (середнє положення хобота).

Третя частина конструкції мотопдвіса – це його кріплення (рис. 5.4). За допомогою нього, крім виконання функції кріплення, можна ще регулювати кут елевації, тобто регулювати дугоподібну траєкторію руху дзеркала супутникової антени.

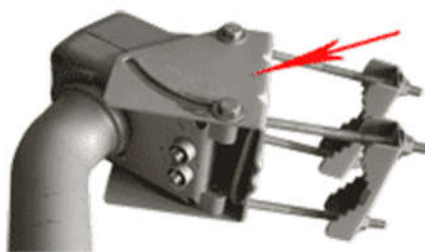


Рисунок 5.4 – Кріплення мотопідвісу

В нижній частині корпусу мотопідвісу розташовані високочастотні роз'єми (рис. 5.5).



Рисунок 5.5 – Розташування роз'ємів на корпусі мотопідвісу

Мотопідвіс також має в наявності дві шкали кута повороту супутникової антени. Одна шкала розташовується у верхній частині корпусу (рис. 5.6).



Рисунок 5.6 – Верхня шкала повороту супутникової антени

Інша шкала, котра більша за розміром, розташовується в нижній частині корпусу мотопідвісу (рис. 5.7).

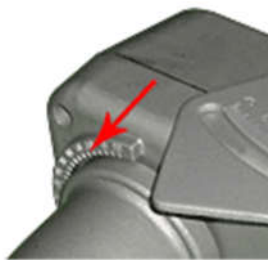


Рисунок 5.7 – Нижня шкала повороту супутникової антени

До початку експлуатації мітка 0 градусів на нижній шкалі має строго співпадати з рисками на коліноподібній трубі.

### **Порядок виконання роботи**

1. Візьміть мотопідвіс і під'єднайте його в кімнаті до ресівера чи DVB-карти. Один кінець кабеля під'єднайте до входу ресівера чи DVB-карти, інший кінець потрібно під'єднати до роз'єма мотопідвісу з написом «Receiver». Після ввімкнення системи на мотопідвісі має загорітись зелена лампочка, вона є ознакою того, що на мотопідвіс подається живлення. Натисніть і утримуйте гумову кнопку з написом «East-West Button» один раз, вал мотопідвіса має почати рух в напрямі заходу «West», натисніть і утримуйте кнопку двічі, і вал почне рух в напрямі сходу «East». Перевірте, щоб мітка валу мотопідвісу проходила обидва напрями до 80°. Спочатку на новому мотопідвісі вал може рухатись лише на захід. Для того, щоб він рухався на схід, необхідно скинути налаштування мотопідвісу. Для цього потрібно тонкою спицею чи сірником натиснути сховану кнопку «Reset» та потримати, доки зелена лампочка не замигає рудим кольором. Після цього вал має рухатись в обидва боки.

2. Перевірте, чи керується мотор командами з вашого приймального пристрою. На прикладі ресівера Lumax DV-728: необхідно зайти в меню «Установка антени», в графі «Позиціонер» обрати «DiSEqC 1.2», натиснути ОК. В меню, що з'явиться, обрати графу «Рух» та натисненнями вліво та вправи

джойстика на пульті подивитись, чи рухається вал мотопідвіса. Також перевірити графу «На один крок».

3. Визначте довготу міста відповідно до варіанту (табл. 5.1) та налаштуйте на найближчий супутник з допустимою похибкою 0.5-1°.

4. Налаштуйте кут елевації для вашого мотопідвісу. Для цього можна скористатись шкалою «Elevation» або шкалою «Latitude». На шкалі Latitude треба виставити широту міста відповідно до варіанту, або у випадку використання шкали Elevation – виставити значення 90°-Latitude.

Таблиця 5.1 – Варіанти завдання

Варіант	Місто
1	Львів
2	Харків
3	Вінниця
4	Київ
5	Одеса

### Зміст звіту

1. Номер та тема роботи на титульному аркуші.
2. Мета роботи та порядок виконання роботи на наступному аркуші.
3. Результати виконання роботи: за п.2 – знімки екрану налаштування ресівера, за п.3 та 4 – налаштування координат супутника.

## Лабораторна робота №6

### ПРИЙМАННЯ ЦИФРОВИХ СУПУТНИКОВИХ ТЕЛЕВІЗІЙНИХ ПРОГРАМ ЗА ДОПОМОГОЮ DVB-S2 КАРТИ

**Мета роботи:** Отримати навички роботи з DVBS-2 картою та відповідним програмним забезпеченням.

#### Теоретичні відомості

Для збільшення об'єму передаваної інформації та зменшення частотного діапазону, що займається передавачами супутника, використовують різну поляризацію: лінійну та кругову. Розглянемо це детальніше.

Електромагнітна хвиля характеризується векторами електричної – "Е" та магнітної – "Н" напруженостей електромагнітного поля. Особливу роль в процесі розповсюдження хвилі грає просторове розташування цих векторів.

У разі лінійної поляризації вектор напруженості електричного поля "Е" коливається в вертикальній або горизонтальній площині. Відповідно розрізняють вертикальну та горизонтальну лінійні поляризації. Якщо ж вектор напруженості електричного поля "Е" безперервно змінює свою орієнтацію та має кут обертання, то такий спосіб називається круговою поляризацією. Залежно від напрямлення обертання вектора "Е" розрізняють поля правого та лівого обертання. Це дуже важливі параметри. Незнання цих параметрів може повністю позбавити вас можливості установки приймальної супутникової антени. На рис. 6.1 показано вертикальну та горизонтальну поляризації сигналу.

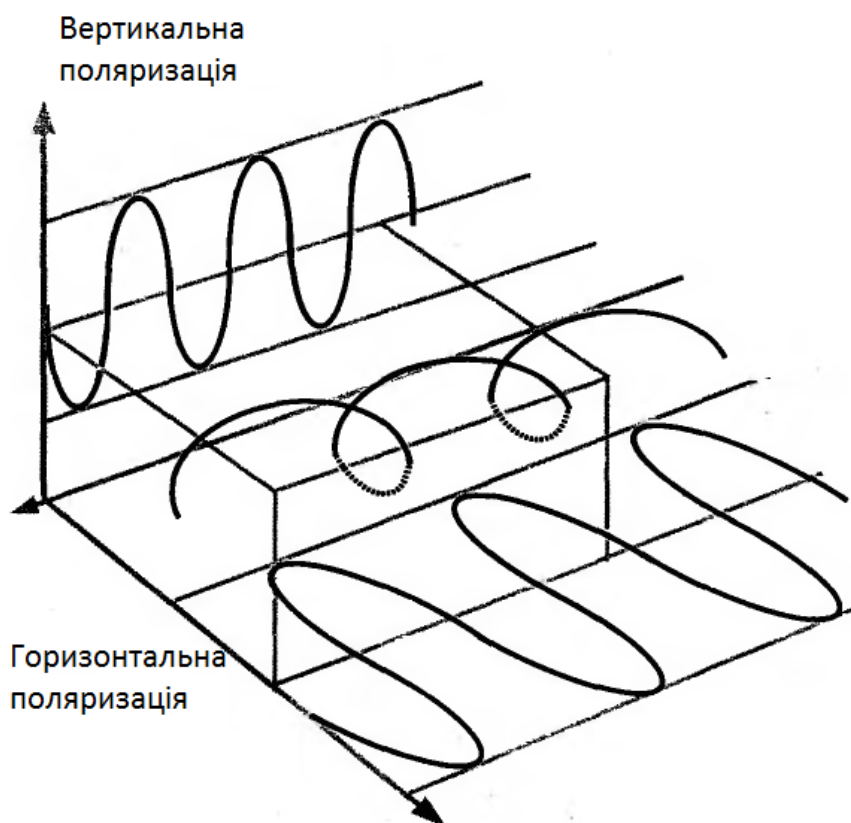


Рисунок 6.1 – Поляризаційні характеристики сигналу

На супутнику наявні кілька прийомо-передавальних комплектів обладнання та кілька передавальних антен. Такий комплект прийомо-передавального обладнання називають транспондером. До появи цифрових методів стискання зображення один канал займав один транспондер, що дуже стримувало збільшення кількості каналів, що передаються з супутника. У разі появи нових цифрових методів стискання з одного транспондера може транслюватися велика кількість каналів. Кількість каналів залежить від швидкості потоку мовлення транспондера ( $SR$  – "Symbol Rate", [МГц]) та степені стискання зображення та звуку в каналах, що транслюються. Що вище стискання (та гірша якість зображення та звуку), то більша кількість каналів може бути передана в одному транспондера. На більшості європейських супутників швидкість потоку транспондера дорівнює 27500 МГц, на інших вона може змінюватись від 1000 МГц до 45000 МГц.

У процесі передавання інформації можливі різні проблеми з прийманням сигналу: завади в вигляді сильного дощу та інших атмосферних осадів – через це часина інформації буде втрачена. Для зменшення імовірності втрати інформації в корисний сигнал вводять додаткову службову інформацію, завдяки якій можна відновити втрачені фрагменти.

Ці операції не входять в стандарт стискання "MPEG" і в різних супутникових системах можуть реалізовуватись різними способами, від чого дані системи втрачають апаратурну сумісність. Європейським країнам вдалося вирішити цю проблему, розробивши на базі "MPEG-2" стандарт багатoprogramного ТВ-мовлення DVB.

В стандарті DVB застосовується каскадне завадостійке кодування. Степінь надлишкової інформації позначають терміном FEC (Forward Error Correction). Маються наступні значення цього параметра:  $1/2$ ,  $2/3$ ,  $3/4$ ,  $5/6$  та  $7/8$ . Що менше співвідношення, то вища імовірність втрати інформації. Наприклад, однаковий за потужністю сигнал з різними значеннями FEC по-різному приймається у разі несприятливих погодніх умов. Сигнал зі значенням  $7/8$  буде частково або повністю втрачено, а сигнал зі значенням  $1/2$ - $3/4$  матиме достатній рівень для успішного приймання.

Інформацію, що передається в транспондері, можна представити у вигляді довгого залізничного потяга з багатьма вагонами, де потяг – це потік інформації, що передається транспондером, а вагони – це порції інформації (пакети), на котрі поділений даний потік. Для виключення плутанини кожен з пакетів має свій номер (PID – ідентифікаційний номер пакета). Ці пакети несуть різноманітну інформацію. Наявні службові пакети, відео- та аудіо пакети. В системних пакетах записана технічна інформація: кому призначений кожен з пакетів, порядок розташування цих пакетів та інша додаткова інформація.

Іноді мовник випадково або навмисне вказує неповні або неточні дані в системних пакетах або ці дані мають грубу помилку. В такому випадку приймач не розуміє отриманої інформації та телевізійний канал може бути поміщений в список радіоканалів або буде визначений як службовий потік та проігнорований.

Для успішного приймання таких нестандартних сигналів у налаштування супутникового приймача необхідно вручну ввести значення PID у відповідному меню вашого приймача. Хоча такі випадки зустрічаються все рідше, про PID не варто забувати.

Параметри мовлення з супутника вказуються наступним чином:

12226 Н 27500 3/4.

Де:

12226 – частота, на котрій передається сигнал з супутника,

Н – поляризація сигналу,

27500 – Symbol Rate, швидкість потоку даних, що передаються з супутника. Для стандарту стискання інформації MPEG-2 один символ займає 2 біти. Таким чином, швидкість 27500 еквівалентна 55 Мбіт/с.

3/4 – значення FEC. Цей параметр означає надмірність для можливого контролю помилок. FEC має значення: 0, 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 та 7/8. Якщо FEC = 5/6 5 бітів несуть інформацію про ТВ-сигнал, 6-й біт є захисним.

Також вам можуть зустрітись такі позначення: L – ліва кругова поляризація, R – права кругова поляризація. Нагадуємо, що для приймання сигналу з круговою поляризацією необхідно мати спеціальний конвертор.

DVB-S2 – стандарт цифрового супутникового телемовлення. Цей стандарт створений для широкомовних послуг, таких як стандартне та HDTB, інтерактивних послуг, включаючи доступ до Інтернету. В порівнянні з DVB-S є дві нові характеристики:

- Ефективна схема кодування на LDPC-кодах.
- Змінне кодування та модуляції та адаптивне кодування та модуляція.

Основні характеристики:

- Зворотна сумісність з DVB-Стандарт DVB-DSNG;
- Чотири режими модуляції: QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK;
- Покращене кодування: сучасний LDPC-код поєднаний з зовнішнім BCH-кодом для того, щоб досягнути квазі-безпомилкового прийняття в AWGN-



каналі. Зовнішнє кодування використовується для уникання феномену, названого errorfloor за низької імовірності похибки;

- Різні швидкості кодування для гнучкої конфігурації параметрів передавання: 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10.

### Порядок виконання роботи

1. Встановити програму ProgDVB. На запит про вибір пристрою обрати Technisat SkyStar 2(PCI/USB) (рис. 6.2).

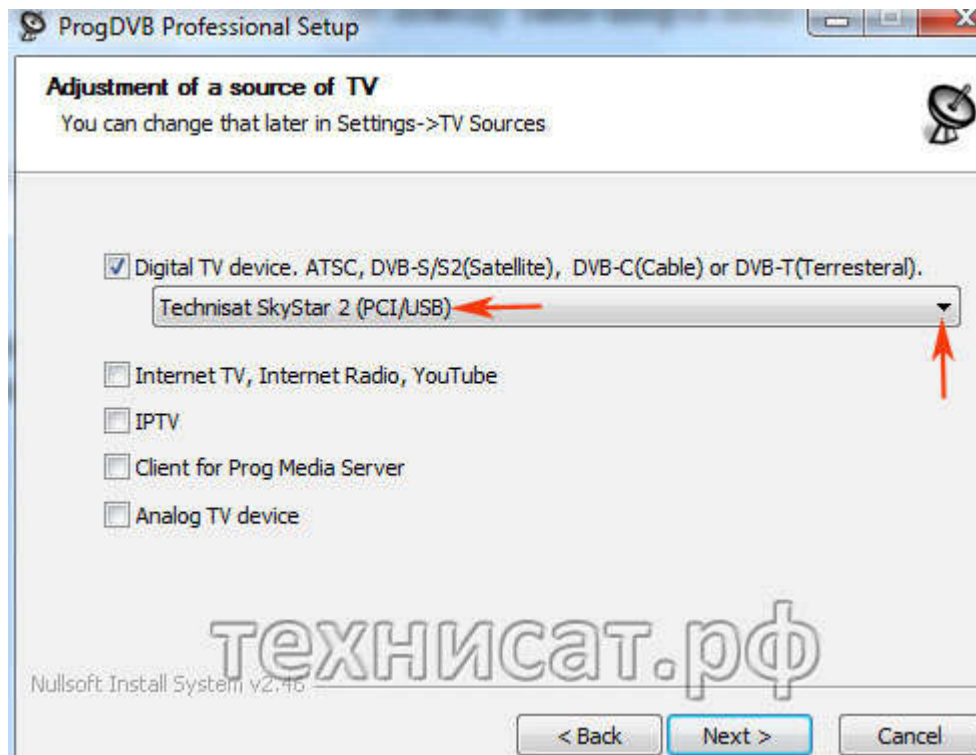


Рисунок 6.2 – Вибір пристрою в процесі встановлення програми

2. Запустити програму, перевірити вибір (WDM) SkyStarS2 TVPCI та натисніть кнопку «Расширенные» (рис. 6.3).

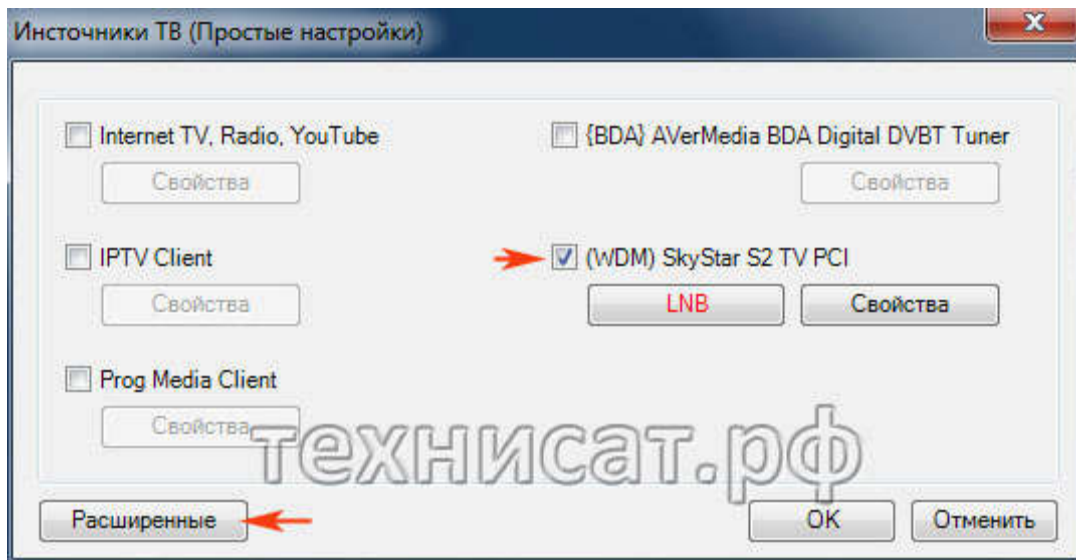


Рисунок 6.3 – Вибір пристрою у налаштуваннях

3. В вікні, що з'явилося, оберіть «+Переключатель» та вкажіть тип протоколу DiSEqC(рис. 6.4).

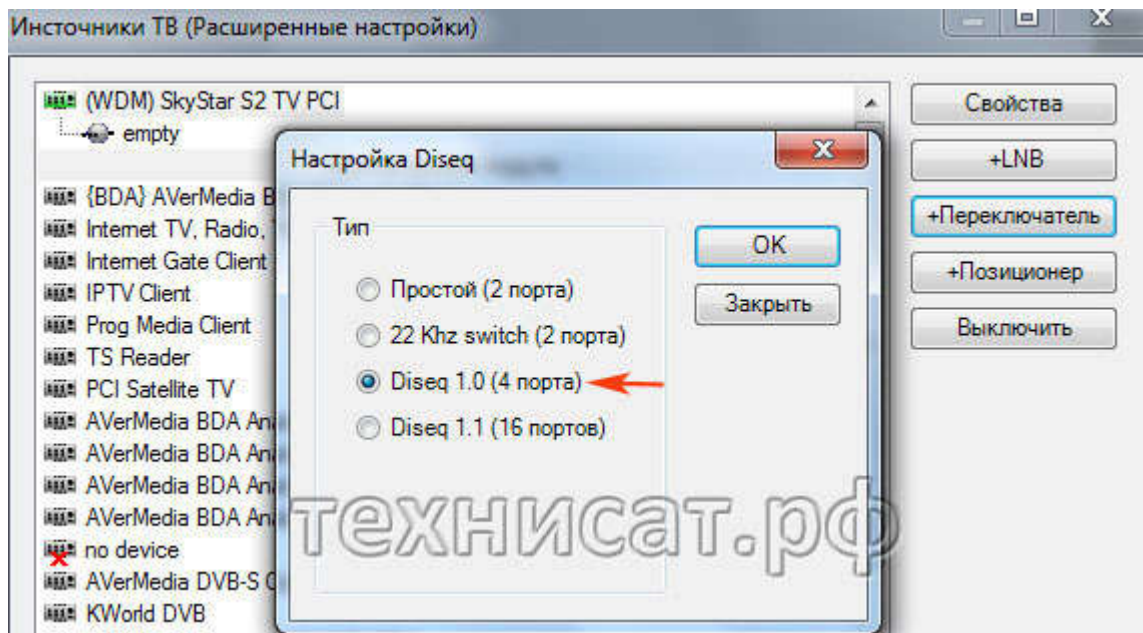


Рисунок 6.4 – Налаштування DiSEqC

4. Натиснути OK. Обрати empty№1 та натиснути кнопку +LNB (рис. 6.5).

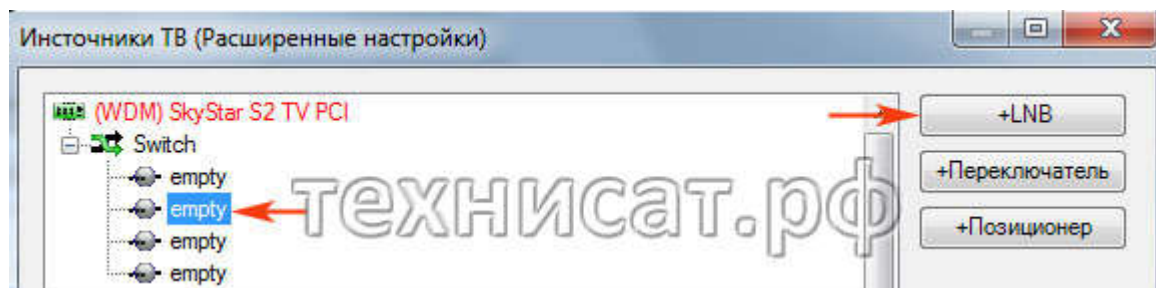


Рисунок 6.5 – Початок налаштування конвертора та супутника

5. Обрати тип конвертора та супутник відповідно до варіанту завдання (рис. 6.6 та табл. 6.1).

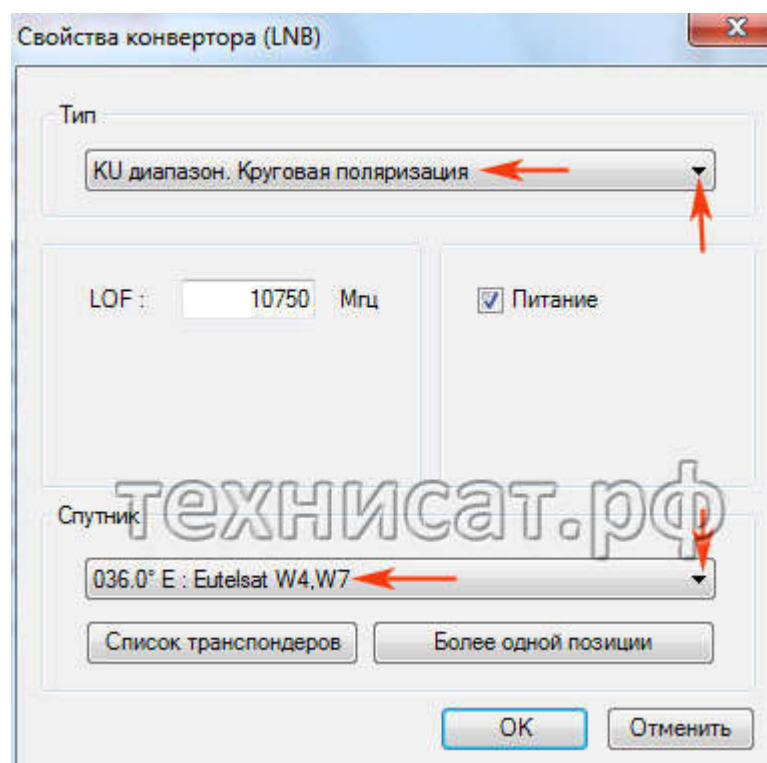


Рисунок 6.6 – Інтерфейс вибору супутника та конвертора

6. Провести ту ж саму операцію з опціями empty №2 та empty №2, вказавши інші супутники відповідно до варіанту.
7. Натиснути ОК. Після завантаження програми натиснути «Список каналов» - «Сканирование транспондера» - обрати супутник, з якого потрібно отримати сигнал, та вказати параметри каналу (частоту транспондера, поляризацію, символну швидкість та FEC).

Таблиця 6.1 – Варіанти завдання

Варіант	Супутник	Програма
1	4,9 <sup>0</sup> E	Est TV
2	4 <sup>0</sup> W	Tonis HD
3	13 <sup>0</sup> E	KBS World
4	13 <sup>0</sup> E	Fashion TV Europe
5	4,9 <sup>0</sup> E	112 HD

### Зміст звіту

1. Номер та тема роботи на титульному аркуші.
2. Мета роботи та порядок виконання роботи на наступному аркуші.
3. Результати виконання роботи: знімки екрану за кожним пунктом та параметри каналів, що приймаються з супутників.

## Лабораторна робота №7

### ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПАКЕТІВ ЦИФРОВИХ СУПУТНИКОВИХ ТЕЛЕВІЗІЙНИХ ПРОГРАМ В СИСТЕМІ DVB-S

**Мета роботи:** з'ясувати принципи формування мультиплексованих цифрових пакетів провайдерами супутникових телевізійних каналів.

#### Теоретичні відомості

Формування транспортного потоку під час утворення мультиплексованих пакетів цифрових супутникових телевізійних програм описано нижче.

Структурна схема формування TS MPEG-2 показана на рис. 7.1.

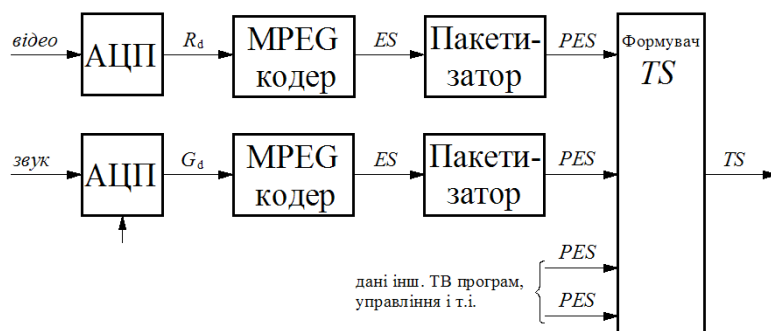


Рисунок 7.1 – Формування транспортного потоку MPEG-2

Потоки даних на виходах відповідних кодерів називають елементарними потоками (elementary stream – ES), в пакетизаторах дані розбивають на пакети, що містять заголовки визначеної структури. Отримані потоки називають пакетизованими елементарними потоками (packet elementary stream – PES). В кожному PES об'єднані дані, які відносять до певного вхідного сигналу (відносно телевізійного кадру або кадру стисненого звукового сигналу).

Пакетизовані елементарні потоки кількох телевізійних програм об'єднують з додатковими даними та сигналами управління в єдиний транспортний потік TS. Пакети TS мають фіксовану довжину (188 байт) та визначену структуру заголовку (4 байта). Кожний пакет TS починається з

ідентифікатора пакета PID (packet identifier). Він визначає тип пакету, а також приналежність даних, що передаються, до одного з елементарних потоків.

Крім того, TS містить спеціальні пакети PAT (Program Association Table) та PMT (Program Map Table), які несуть інформацію про те, які значення ідентифікаторів відповідають тому чи іншому елементарному потоку. Також існують особливі пакети, що передають 10 разів на секунду та містять мітки часу PCR (Program Clock Reference). Ці пакети містять значення моментів часу за годинником передавальної системи.

### Порядок виконання роботи

1. Відповідно до варіанту завдання (табл. 7.1) виконати запис за допомогою програми ProgDVB фрагменту телевізійної програми тривалістю 20 с.

Таблиця 7.1 –Початкові дані

Варіант	Супутник	Параметр транспондера	Телевізійний канал
1	Astra 4.8 <sup>0</sup> E	12073 H	Ru Music
2	Astra 4.8 <sup>0</sup> E	12284 V	5 канал
3	Astra 4.8 <sup>0</sup> E	11766H	2+2
4	Amos 4 <sup>0</sup> W	10722H	1+1
5	Amos 4 <sup>0</sup> W	10759 H	ICTV

2. За допомогою інструменту MediaInfo пакету програм K-Lite Codec Pack визначити загальну швидкість бітового потоку записаної відеопослідовності.

3. Припускаючи, що всі телевізійні канали мають аналогічну швидкість бітового потоку, визначити можливу кількість каналів стандартної якості (SDTV) на транспондері.

Для цього необхідно скористатися виразом:

$$N = \frac{R_s \cdot \log_2 M \cdot FEC \cdot r_{RS}}{R_0} \cdot (1 - k_{\text{rolloff}}),$$

де  $R_s$  – символна швидкість мультиплексованого потоку на транспондері;

$M$  – порядок модуляції мультиплексованого потоку на транспондері;

$FEC$  – швидкість згорткового коду;

$r_{RS}$  – швидкість коду Ріда-Соломона (188/204);

$R_0$  – виміряна у пункті 2 швидкість бітового відео;

$k_{\text{rolloff}}$  – коефіцієнт, що пов'язаний з округленням спектру сигналу під час передавання на супутник, прийнято 0,35 (35%).

4. Здійснити запис інших телевізійних програм, доступних у незакодованому вигляді на транспондері. Тривалість записаних фрагментів має бути також 20 с.

5. Суб'єктивно оцінити якість записаних відеопослідовностей.

5.1 Кожний член бригади (4-5 осіб) оцінює записану відеопослідовність за допомогою власної оцінки якості на інтервалі від 1 до 5.

Шкала оцінювання:

- «5» - відмінна якість (спотворень не помітно);
- «4» - хороша якість (спотворення ледь помітні);
- «3» - задовільна якість (спотворення помітні);
- «2» - погана якість (спотворення дуже помітні);
- «1» - незадовільна якість (спотворення заважають сприйняттю).

5.2 За результатами оцінювання усіх членів бригади визначити середню суб'єктивну оцінку якості  $MOS$  (Mean Opinion Score) для кожної відеопослідовності. Побудувати стовпчикову діаграму якості.

5.3 Відповідно до пункту 2 визначити швидкість бітового потоку кожної відеопослідовності. Побудувати графік залежності оцінок якості  $MOS$  від швидкості бітового потоку  $R_0$ .

6. Порівняти розраховану кількість каналів стандартної якості (SDTV)  $N$  на транспондері з реальною (підрахувати загальну кількість незакодованих та

закодованих каналів). Пояснити отримані розбіжності. Зробити висновок про кількість телевізійних каналів на транспондері та якість зображення, якої можна досягти в такому випадку.

### **Зміст звіту**

1. Номер та тема роботи на титульному аркуші.
2. Мета роботи та порядок виконання роботи на наступному аркуші.
3. Результати виконання роботи за пунктами 2, 3, графіки та діаграми за пунктом 5, висновки за пунктом 6.



## КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ТА ВКАЗІВКИ ПРО ПОРЯДОК ЗАХИСТУ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Критерії оцінювання лабораторних робіт з дисципліни "Мережні технології 3. Радіорелейні та супутникові телекомунікаційні системи":

**5 балів** – під час захисту виконаної роботи студент відповідає правильно, у повному обсязі;

**4 бали** – під час захисту виконаної роботи студент допускає незначні неточності у відповідях;

**3 бали** – під час захисту виконаної роботи студент погано орієнтується в матеріалі;

**2 бали** – лабораторна робота виконана студентом у відведений розкладом час;

**0 балів** – лабораторна робота не виконана

Під час захисту лабораторної роботи студент надає звіт, оформлений відповідно до вимог ДСТ 3008-95, який обов'язково повинен містити:

- титульний аркуш з номером та назвою лабораторної роботи;
- мету роботи;
- завдання на роботу;
- порядок виконання та результати роботи відповідно до завдання (індивідуально для кожної роботи ця частина звіту складається згідно з пунктом "Зміст звіту");
- висновки.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Каменський Н.Н., Модель А.М., Надененко Б.С. та ін. Справочник по радиорелейной связи. – М.: Радио и связь, 1981. – 416 с., ил.
2. Данилин А.А. Спутниковое телевидение. Установка, подключение, ремонт. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2009. – 216 с.: ил.
3. Ухудшение качества канала передачи и методы их преодоления [Електронний ресурс]: Режим доступу до інформації: [http://roks.com.ua/ru/Pay\\_transport/publication8159/#tnav](http://roks.com.ua/ru/Pay_transport/publication8159/#tnav)